

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERÍA**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO DE PRUEBAS DE  
TRANSMISIÓN DE DATOS SOBRE LÍNEAS DE POTENCIA ELÉCTRICA PARA  
EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA CITIC”**

**Roberto Daniel Triviño Cepeda**

**SANGOLQUÍ – ECUADOR**

**2006**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el Señor ROBERTO DANIEL TRIVIÑO CEPEDA con cédula de identidad número 1712197522, ha culminado con éxito el Proyecto de Grado para la obtención del título a Ingeniería Electrónica.

El tema de grado titulado “Implementación De Un Laboratorio De Pruebas De Transmisión De Datos Sobre Líneas De Potencia Eléctrica Para El Centro De Investigación Científica CITIC” ha sido elaborado bajo nuestra dirección y ha cumplido con todas las expectativas.

-----  
Ing. Ramiro Ríos  
DIRECTOR

-----  
Ing. Rodrigo Silva  
CODIRECTOR

## **RESUMEN**

El presente proyecto busca proporcionar métodos de prueba para analizar líneas de potencia eléctrica de casas y edificios, con el fin de determinar la aptitud del tendido de cobre para transmitir datos e información; y aprovecharlas para prestar servicios de banda ancha garantizando la máxima velocidad de transmisión de información una vez caracterizada dicha red.

Para proceder con esta implementación se hace previamente un análisis breve de las redes eléctricas, propiedades y características, el aspecto teórico referente a guías de onda de dos conductores con sus principales parámetros y una revisión del estado del arte de la tecnología PLT/PLC.

Hecho ya el análisis previo se establecen las pruebas a realizarse, los procedimientos y se plantea el laboratorio mismo, para luego desarrollar las pruebas con acoples, mediciones de atenuación, respuesta en frecuencia, impedancia, distorsión armónica y ruido sobre la red eléctrica.

Finalmente los resultados obtenidos son analizados, graficados e interpretados. Obteniéndose las conclusiones y recomendaciones para que se constituyan en una referencia para la caracterización con el mismo tipo de pruebas, en redes reales.

## **DEDICATORIA**

*Esta obra dedicada a mis padres por ser mis ejemplos y apoyo; por tener fe, paciencia y confianza en mí, ya que gracias a su amor incondicional y sabios consejos, me incentivaron conseguir mi primer éxito profesional.*

*A mi hermana a quien le agradezco por estar siempre junto a mi y le deseo éxitos en su vida profesional.*

*A mis amigos personales los cuales me apoyaron y acompañaron para seguir adelante desde el inicio hasta el fin de este primer éxito.*

*Roberto Daniel Triviño Cepeda.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios por colmar mi vida de bendiciones, por guiar mi camino y llenarlo de sabiduría en cada acto de mi vida.*

*A mis Padres que con su apoyo incondicional me han permitido obtener con éxito mi título profesional, por enseñarme día a día a esforzarme al máximo y aprender de a vivir con humildad.*

*A los señores Ingenieros Ramiro Ríos y Rodrigo Silva, por su valiosa y desinteresada ayuda prestada en la realización de este proyecto; así como a todos los profesores y grandes amigos de mi facultad con quienes compartimos éxitos, experiencias y sabias enseñanzas durante nuestra formación como profesionales.*

*Roberto Daniel Triviño Cepeda.*

## **PRÓLOGO**

El presente proyecto tiene como objetivo principal realizar la Implementación de un Laboratorio de Pruebas de Transmisión de Datos sobre infraestructura de líneas de Potencia Eléctrica para el Centro de Investigación Científica CITIC, basado en tecnología PLT/PLC.

La tendencia actual es aprovechar al máximo las redes ya desplegadas de cobre, así se han visto a las redes de suministro de energía eléctrica como una gran opción a ser explotadas, esto sumado a los avances tecnológicos han hecho posible que se puedan ofrecer servicios de banda ancha, para transmisión de datos a través de este tipo de redes.

El estudio y análisis de las redes eléctricas es de gran importancia, debido a que es muy diferente transportar señales de baja frecuencia como la de la energía eléctrica a transportar señales de alta frecuencia en el rango de los Megahertz para hacer posible la transmisión de datos, y por eso la necesidad de analizar lo referente a guías de onda de dos conductores paralelos, que es el modelo mas adecuado para una buena explicación

Una vez entendidos los conceptos que hacen posibles la transmisión datos sobre líneas eléctricas, es necesario también revisar las características y propiedades presentes en las redes y como estas las afectan. Estas características pueden ser ruido, impedancia del canal y atenuación por mencionar algunas, las mismas que varían no solo de lugar en lugar sino también del tiempo, y periodo del día.

Con estos conceptos presentes se llega a analizar y proponer un conjunto de pruebas que se deben realizar para llegar a caracterizar un red de suministro de energía eléctrica, que es el objetivo de este trabajo.

# INDICE

CAPITULO I .....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>1.1 Telecomunicaciones a través de Líneas de Potencia Eléctrica (PLT/PLC).....</b>	<b>1</b>
1.1.1 Definiciones .....	2
<b>1.2 Historia.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Importancia .....</b>	<b>5</b>
1.3.1 Aplicaciones y Servicios.....	7
1.3.1.1 Servicios .....	7
1.3.1.2 Aplicaciones .....	8
<b>1.4 Proyectos Realizados.....</b>	<b>9</b>
<b>1.5 Empresas Proveedoras de Servicios y Tecnología PLC/PLT .....</b>	<b>12</b>
<b>1.6 Resumen de Análisis.....</b>	<b>15</b>
CAPITULO 2.....	17
EVALUACIÓN DE LAS REDES DE POTENCIA ELÉCTRICA PARA PLT/PLC.....	17
<b>2.1 Red de Suministro de Energía Eléctrica .....</b>	<b>17</b>
2.1.1 Producción y Transporte .....	17
2.1.2 Red de Distribución .....	18
2.1.2.1 Alta Tensión .....	19
2.1.2.2 Media Tensión.....	19
2.1.2.3 Baja Tensión.....	19
<b>2.2 Elementos que constituyen la Red Eléctrica de Media y Baja Tensión.....</b>	<b>20</b>
2.2.1 Elementos en Medio Voltaje.....	20
2.2.1.1 Subestaciones Eléctricas.....	20
2.2.1.2 Subestaciones Transformadoras .....	21
2.2.1.3 Líneas de Medio Voltaje.....	23
2.2.1.3.1 Cables aéreos.....	23
2.2.1.3.2 Cables Subterráneos .....	24
2.2.1.4 Switchgear .....	24
2.2.1.5 Circuitos con Breakers y Switches .....	25
2.2.1.6 Bushings/Aisladores .....	26
2.2.1.7 Fusibles.....	26
2.2.1.8 Unidades de Telecontrol.....	26
2.2.1.9 Transformadores de Media/Baja Tensión.....	27
2.2.2 Elementos en Bajo Voltaje.....	27

2.2.2.1 Centralillas (Switchboards) .....	28
2.2.2.2 Líneas de Bajo Voltaje .....	28
2.2.2.2.1 Líneas Aéreas .....	28
2.2.2.2.2 Líneas Subterráneas.....	29
2.2.2.3 Splices.....	29
2.2.2.4 Gabinetes de Calle .....	29
2.2.2.5 Cajas de Fusibles .....	29
2.2.2.6 Cuarto de Medidores. ....	29
2.2.2.7 Medidores .....	30
2.2.2.8 Protecciones en Casa .....	30
<b>2.3 Parámetros Técnicos de las Líneas de Transmisión.....</b>	<b>30</b>
2.3.1 Extra Alto y Alto Voltaje.....	30
2.3.1.1 Parámetros Primarios.....	31
2.3.1.2 Parámetros Secundarios.....	34
2.3.2 Medio Voltaje .....	36
2.3.3 Bajo Voltaje .....	37
<b>2.4 Red de Abonado .....</b>	<b>37</b>
2.4.1 Cableado .....	39
<b>2.5 Propiedades y Características de las Líneas Eléctricas. ....</b>	<b>40</b>
2.5.1 Comportamiento .....	40
2.5.2 Impedancia.....	40
2.5.3 Atenuación y Pérdidas .....	41
2.5.4 Ruido y Efectos.....	43
2.5.5 Distorsión en la Señal Transmitida .....	45
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>47</b>
<b>TECNOLOGÍA PLT/PLC .....</b>	<b>47</b>
<b>3.1 Estado del Arte .....</b>	<b>47</b>
3.1.1 Topología Típica.....	47
3.1.2 Especificaciones de los Equipos .....	48
3.1.2.1 NTU (Network Termination Unit) .....	48
3.1.2.2 RP (Repeater) .....	48
3.1.2.3 LVHE (Low Voltaje Head End).....	48
3.1.2.4 Nodo MV .....	49
3.1.3 Arquitecturas PLT.....	49
3.1.3.1 Arquitectura de Medio Voltaje.....	50
3.1.3.2 Arquitectura de Bajo Voltaje.....	51



3.1.3.2	Arquitectura In-Home.....	52
3.1.4	Arquitectura OSI.....	53
3.1.4.1	Capa Física .....	54
3.1.4.1.1	Interfaces Físicas .....	54
3.1.4.2	Capa Enlace .....	56
3.1.5	Transmisión de la Señal .....	58
3.1.5.1	Secuencia de Transmisión .....	58
3.1.5.2	Secuencia de Recepción .....	59
3.1.6	Esquemas de Modulación .....	61
3.1.6.1	PSK (Transmisión por Desplazamiento de Fase) y QPSK.....	61
3.1.6.2	QAM (Modulación de Amplitud en Cuadratura) .....	62
3.1.6.3	OFDM (Modulación por División Ortogonal de Frecuencias).....	63
<b>3.2</b>	<b>PLC/PLT Estandarización .....</b>	<b>64</b>
3.2.1	Estandarización PHY y MAC.....	64
3.2.1.1	Especificaciones Existentes.....	64
3.2.1.1.1	Especificaciones Homeplug.....	65
3.2.1.1.2	Especificaciones CEPCA.....	66
3.2.1.1.3	Especificación OPERA .....	66
3.2.1.1.4	Especificación UPA .....	66
3.2.1.2	Cuerpos de Estandarización.....	67
3.2.1.2.1	Actividades del ETSI en PLC/PLT .....	67
3.2.1.2.2	El proyecto de estandarización IEEE P1901 .....	68
3.2.1.2	Aspectos EMC.....	68
CAPITULO 4.....		70
IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO Y PRUEBAS.....		70
<b>4.1</b>	<b>Circuito Teórico Referencial.....</b>	<b>70</b>
<b>4.2</b>	<b>Equipos y Procesamiento de las mediciones. ....</b>	<b>71</b>
4.2.1	Pruebas Propuestas y Equipos Usados.....	71
4.2.2	Procesamiento de las mediciones.....	72
<b>4.3</b>	<b>Procedimiento de pruebas. ....</b>	<b>73</b>
4.3.1	Acoples .....	73
4.3.1.1	Procedimiento.....	75
4.3.1.2	Resultados.....	76
4.3.2	Atenuación.....	79
4.3.2.1	Procedimiento.....	80
4.3.2.1	Resultados.....	81

4.3.3 Impedancia.....	85
4.3.3.1 Procedimiento.....	85
4.3.3.2 Resultados.....	87
4.3.4 Respuesta en Frecuencia.....	91
4.3.4.1 Procedimiento.....	92
4.3.4.2 Resultados.....	92
4.3.5 Ruido.....	94
4.3.5.1 Procedimiento.....	95
4.3.5.2 Resultados.....	96
4.3.6 Distorsión Armónica.....	103
4.3.6.1 Procedimiento.....	104
4.3.6.2 Resultados.....	105
4.3.7 Pruebas con dispositivos PLT.....	107
4.3.7.1 Procedimiento.....	107
4.3.7.2 Resultados.....	108
4.3.8 Verificación Red LAN.....	109
4.3.8.1 Procedimiento.....	109
4.3.8.2 Resultados.....	111
<b>4.4 Conclusiones de las Pruebas.....</b>	<b>112</b>
CONCLUSIONES.....	116
RECOMENDACIONES.....	119
ANEXOS.....	123
ANEXO I.....	124
<b>ANÁLISIS COMPARATIVO CON OTRAS TECNOLOGÍAS.....</b>	<b>124</b>
ANEXO II.....	134
<b>PRUEBAS DE LABORATORIO.....</b>	<b>134</b>

## **INDICE DE TABLAS**

### **CAPITULO I**

Tabla 1.1 Pruebas Comerciales Con Tecnología PLC .....	12
Tabla 1.2 Pruebas Piloto Con Tecnología PLC.....	12
Tabla 1.3 Proveedores De Tecnología .....	14

### **CAPITULO II**

Tabla 2.1 Valores Típicos Para Líneas De Medio Y Bajo Voltaje.....	37
Tabla 2.2 Tipos Y Tamaños De Los Cables Más Utilizados En Las Construcciones .....	39

### **CAPITULO IV**

Tabla 4.1 Pruebas Y Equipos Necesarios.....	72
Tabla 4.1 Distribución De Cargas Y Ab En La Edificación .....	112

# Índice de Figuras

## CAPITULO I

Figura 1.1 Proveedores Y Fabricantes .....	15
--	----

## CAPITULO II

Figura 2.1 Esquema General De Una Red Eléctrica .....	18
Figura 2.2 Diagrama De Una Subestación Transformadora .....	22
Figura 2.3 Bushing Tipo Sólido .....	26
Figura 2.4 Línea De Transmisión Cable Abierto .....	31
Figura 2.5 Línea De Transmisión De Dos Cables Paralelos, Circuito Eléctrico Equivalente .....	31
Figura 2.6 Redes De Distribución, Voltajes De Suministro .....	39
Figura 2.7 Impedancia A Lo Largo De 48 Horas.....	41
Figura 2.8 Ruido A Lo Largo De 48 Horas .....	45

## CAPITULO III

Figura 3.1 Topología Típica .....	47
Figura 3.2 Ejemplo De Uso De Lo Equipos .....	49
Figura 3.3 Ejemplo De Arquitecturas MV.....	51
Figura 3.4 Ejemplo De Coexistencia MV/BV .....	51
Figura 3.5 Ejemplo De Arquitecturas BV.....	52
Figura 3.6 Ejemplos In-Home.....	53
Figura 3.7 Arquitectura OSI .....	54
Figura 3.8 Trama Homeplug.....	57
Figura 3.9 Transmisor Homeplug 1.0 Y AV .....	59
Figura 3.10 Receptor Homeplug 1.0 Y AV .....	60
Figura 3.11 BPSK .....	62
Figura 3.12 QPSK.....	62

Figura 3.13 Constelación QAM.....	63
Figura 3.14 Ejemplo 16QAM .....	63
Figura 3.15 Ejemplo OFDM .....	64

## CAPITULO IV

Figura 4.1 Esquema Propuesto .....	71
Figura 4.2 Esquema Propuesto Desplegado.....	71
Figura 4.3 Diagrama Del Acoplador Usado.....	73
Figura 4.4 Diseños Simples De Acoples PLT/PLC .....	74
Figura 4.5 Vista De Los Acoples Usados Izq. Tipo A, Der. Tipo B.....	75
Figura 4.6 Esquema Prueba De Los Acoples.....	75
Figura 4.7 Respuesta Acople Tipo A Con Analizador De Espectros .....	77
Figura 4.8 Respuesta Acople Tipo B Con Analizador De Espectros.....	77
Figura 4.9 Respuesta Acople Tipo A .....	78
Figura 4.10 Respuesta Acople Tipo B .....	78
Figura 4.11 Red Experimental Para Análisis De Señales Y Atenuación En Red PLT/PLC.....	80
Figura 4.12 A) Potencia De Señales B) Atenuación Vs Distancia .....	82
Figura 4.13 A) Potencia De Señales B) Atenuación Vs Distancia .....	83
Fig. 4.14 Atenuación Vs Distancia (Casa) Si No conoce la Distancia a los Puntos a Analizar...	84
Fig 4.15 Atenuación Vs Distancia (Ofic.) Si No conoce la Distancia a los Puntos a Analizar ...	85
Figura 4.16 Esquema Prueba Impedancia.....	86
Figura 4.17 Respuesta De Acople Tipo A en Rango De 300khz-30mhz y 300khz A 100mhz ...	87
Figura 4.18 Respuesta De Acople Tipo B En Rango De 300khz-30mhz y 300khz A 100mhz..	88
Figura 4.19 Carta De Smith Red Sin Cargas En El Primer Punto De Medición .....	88
Figura 4.20 Impedancia Vs Frecuencia (Sin Cargas).....	89
Figura 4.21 Carta De Smith Red Con Cargas .....	89
Figura 4.22 Impedancia Vs Frecuencia (Con Cargas) .....	90
Figura 4.23 Comparación De Impedancia Vs Frecuencia, De Red Con Cargas Y Sin Cargas ...	90

Figura 4.24 Respuesta En Frecuencia De Un Canal PLT/PLC En Segmento De Bajo Voltaje ..	91
Figura 4.25 Esquema De Prueba Respuesta En Frecuencia.....	92
Figura 4.26 Gráficas Hechas A Distintas Distancias En Una Misma Red.....	93
Figura 4.27 Respuesta En Frecuencia Red Eléctrica Sin Cargas (Izq), Con Cargas (Derecha)...	94
Figura 4.28 Diferentes Tipos De Ruido .....	95
Figura 4.29 Esquema De Conexión Prueba Ruido .....	96
Figura 4.30 Comparación De Piso De Ruido Sin Cargas En Frecuencia .....	97
Figura 4.31 Comparación De Piso De Ruido Sin Cargas En Tiempo.....	97
Figura 4.32 Comparación De Ruido Tv.....	98
Figura 4.33 Ruido Taladro En El Tiempo.....	99
Figura 4.34 Ruido Taladro En La Frecuencia.....	99
Figura 4.35 Ruido Producido Por Monitor En La Frecuencia .....	100
Figura 4.36 Ruido Producido Por Computador Sin Encender En La Frecuencia .....	101
Figura 4.37 Ruido Producido Por Computador Sin Encender En El Tiempo.....	101
Figura 4.38 Ruido Producido Por Computador En La Frecuencia .....	102
Figura 4.39 Ruido Producido Por Computador En El Tiempo .....	102
Figura 4.40 Comparación De Muestra Con Piso De Ruido .....	103
Figura 4.41 Ejemplo De Pantalla De Datos Para THD .....	104
Figura 4.42 Esquema Prueba THD .....	105
Figura 4.43 Comparación De THD De Las Frecuencias Mencionadas .....	106
Figura 4.44 Comparación De THD Con La Señal Original.....	106
Figura 4.45 Comparación De Thd Según La Distancia .....	107
Figura 4.46 Esquema Prueba Con Dispositivos PLT .....	108
Figura 4.47 Respuesta En El Tiempo Del Dispositivo PLT .....	108
Figura 4.48 Respuesta En Frecuencia De Los Dispositivos PLT .....	109
Figura 4.49 Esquema De Pruebas Con Dispositivos PLT Comerciales.....	110
Figura 4.50 Plano Instalaciones CITIC.....	110
Figura 4.51 Análisis Por Software .....	111

## GLOSARIO

<b>LETRA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>A</b>	
A	Amperios
AC	Corriente Alterna
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AM	Modulación en Amplitud
<b>B</b>	
BER	Bit Error Rate
BPL	Broadband Power Line
BPSK	Binary Phase Shift Keying
BT	Baja Tensión
<b>C</b>	
C	Capacitancia
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization
CEPCA	Consumer Electronic Powerline Communications Alliance
CIEEE	Colegio de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos del Ecuador
CONATEL	Consejo Nacional de Telecomunicaciones
CONELEC	Consejo Nacional de Electrificación
CPE	Customer Premises Equipment
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance

## **LETRA**

## **DESCRIPCIÓN**

### **D**

dB	Decibeles
dBm	Decibeles referidos a 1mW
dBi	Decibeles referido a la ganancia isotropica de una antenna
DPL	Digital Power Line
DS2	Design of Systems on Silicon S.A

### **E**

EAP	Extensible Authentication Protocol
EMEA	Europa, Medio Oriente y África
ETSI	European Telecommunications Standards Institute

### **F**

F	Faradios
FEC	Forward Error Correction
FD	División de Frecuencia
FTP	File Transfer Protocol

### **G**

G	Conductancia
GHz	Giga Hertz

### **H**

HDTV	(High Definition TV) Televisión de Alta Definición
------	--



<b>LETRA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
HiperLAN	High Performance Radio Local Area Network
<b>I</b>	
IP	Internet Protocol
IVA	Impuesto al valor agregado
<b>K</b>	
Kbps	Kilo bits por segundo
KV	Kilo Voltios
<b>L</b>	
L	Inductancia
LAN	Local Area Network
LLC	Control Lógico de Enlace
LVHE	Low Voltaje Head End
<b>M</b>	
MAC	Media Access Control address
Mb	Mega bits
MV	Media Tensión
Mbps	Mega bits por segundo
MHz	Mega Hertz

**LETRA****DESCRIPCIÓN****N**

NAT Network Access Translations

NTU Network Termination Unit

**O**

OFDM Orthogonal Frequency Division Multiplex

**P**

PHY Physical Layer – Capa Física

PLC Power Line Communication

PLT Power Line Transmission

PSD Densidad Espectral de Potencia

PSK Phase Shift Keying

PSU Power Service Utilities – Utilidades por Servicio de Energía

Pymes Pequeñas y medianas empresas

**Q**

QAM Quadrature Amplitude Modulation

QoS Quality of Service

OPERA Open PLC European Research Alliance

QPSK Quadrature Phase Shift Keying

**R**

R Resistencia

<b>LETRA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
RF	Radio Frecuencia
RP	Repetidor
 <b>S</b>	
SCADA	Supervisary Control And Data Acquisition
SDSL	Symmetric Digital Subscriber Line
SENATEL	Secretaria Nacional de Telecomunicaciones
SNR	Relación Señal Ruido
SOHO	Small Office / Home Office
ST	Estación Transformadora
 <b>T</b>	
TD	División de Tiempo
TIC	Tecnologías de la Información y Comunicaciones
 <b>U</b>	
UPA	Universal Powerline Association
 <b>V</b>	
V	Voltios
VoIP	Voz sobre IP
VPN	Virtual Private Network
 <b>W</b>	

W	Watts
WAN	Wireless Area Network
WIFI	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network

## **Z**

Zo	Impedancia
----	------------

## CAPITULO I

### INTRODUCCIÓN

#### **1.1 Telecomunicaciones a través de Líneas de Potencia Eléctrica (PLT/PLC).**

La idea de transportar datos sobre las redes eléctricas no es nada nueva. Es más, las líneas de electricidad desde hace tiempo que se utilizan para transmitir información que no requería gran ancho de banda, como la monitorización y lectura de los contadores. Sólo hacía falta el rápido avance de la tecnología para que esta simple idea se desarrolle; el punto clave es tener en cuenta que la electricidad circula por cables de cobre en baja tensión, al igual que el teléfono y los datos, por lo que basta adecuar una red ya desarrollada y desplegada, cuya cobertura supera a cualquier otra, para convertirla en un acceso a Internet a alta velocidad que alcance a todos los hogares.

Aunque las redes de suministro de energía eléctrica básicamente fueron diseñadas para transmitir energía con bajas pérdidas, y sin considerar requerimientos para telecomunicaciones. Se ha logrado recientemente que el usuario utilice las mismas para dos tipos de servicio electricidad y telecomunicaciones de una manera satisfactoria. Al principio solo las utilidades del servicio de energía eléctrica (PSUs), eran capaces de crear un buen negocio, pero esto está por cambiar muy pronto ya que los operadores de energía también puedan ser operadores de telecomunicaciones.

Con la desregulación de las telecomunicaciones y los mercados de energía que se iniciaron en 1998, las PSUs encontraron gran competencia en el mercado de la energía

eléctrica, y vieron la necesidad de abrir nuevos campos de negocios, encontrando un gran potencial de crecimiento en los mercados de telecomunicaciones.

La electricidad ahora puede ser ofrecida junto con otros servicios de valor agregado, como es lectura de medidores remota, para obtener tarifas transparentes, servicios en el campo de la automatización del hogar entre otros, y sobre todo esto puede proveer una alternativa más a las existentes redes de telecomunicaciones para todos los tipos de servicios de voz, datos y video, así como ofrecer un acceso barato y rápido de Internet al hogar.

Con el continuo desarrollo de la tecnología, cada vez se ofrece un mayor ancho de banda, la oportunidad para la comunicación del usuario también es mayor, aumentan la creación de LAN's<sup>1</sup> en el hogar con un funcionamiento aceptable y sobre todo se permite la integración al hogar de nuevas tecnologías que demandan mayor ancho de banda, pero brindan mayores facilidades y calidad como HDTV<sup>2</sup>, VoIP<sup>3</sup>, etc.

### **1.1.1 Definiciones**

PLC es el acrónimo de Power Line Communication que traducido al español vendría a ser Comunicación por la Línea Eléctrica, también conocida por: PLT (Power Line Transmission/Telecomunicaciones), DPL (Digital Power Line) en sus inicios o bien como es llamada en Estados Unidos, BPL (Broadband Power Line) es una tecnología que permite ofrecer servicios de telecomunicación a través de la red de suministro de energía eléctrica. Se trata por lo tanto de transmisión por cables paralelos de cobre usando como línea de transmisión el coloquialmente conocido “cable eléctrico” que ha sido pensado para transportar energía en vez de señales con mensajes de información.

Esta tecnología posibilita la transmisión de voz y datos a través de una infraestructura ya desplegada, los cables eléctricos, permitiendo convertir los tomacorrientes convencionales en conexiones a los servicios de telecomunicaciones más avanzados (Telefonía, Video, Internet de Alta Velocidad, Domótica, etc.).

---

<sup>1</sup> LAN (Local Area Network) Redes de Área Local

<sup>2</sup> HDTV (High Definition TV) Televisión de Alta definición

<sup>3</sup> VoIP, voz sobre IP

## 1.2 Historia

Como ya se había mencionado la idea de transportar señales de datos a través de la red eléctrica no es nueva. Las comunicaciones sobre redes eléctricas (Power Line Carrier) han estado presentes desde 1930 pero nunca se han tenido seriamente en cuenta como un medio de comunicación debido a su baja velocidad, poca funcionalidad y elevado coste. El primer intento para transportar datos a través del tendido eléctrico se realizó a inicios de la década de 1950. Se desarrolló una técnica llamada Ripple Control cuya función y objetivo era transportar mensajes de control a través del tendido eléctrico. Este método consistía en el uso de bajas frecuencias (de 100 a 900 Hz) con lo cual se lograba conseguir bajas tasas de bits a través del cableado de alta tensión, a menudo en zonas con varias decenas de Kilowatts. Esto fue debido a que no existía una cobertura total de la red telefónica, como de la eléctrica y además para este caso no eran apropiadas, debido a que una mínima interrupción podría ser peligrosa y porque solo era económica en cortas distancias. El sistema funcionó aunque proveía comunicaciones en una sola vía, dentro de las aplicaciones que se brindaba estaba la administración del alumbrado público, control de cargas de voltaje, tarificación e incluso algo de transmisión de datos de modo interno.

Poco a poco se fueron desarrollando nuevos sistemas, ya para inicios de la década de los 80's se obtuvo un ligero aumento en la tasa de bits. A mediados de los 80's se empezaron otras investigaciones con el fin de analizar características y propiedades de la red eléctrica como medio de transmisión de datos. Con este propósito, las frecuencias en el rango de 5 a 500 KHz fueron estudiadas más a fondo.

“Entre los principales tópicos analizados, se encuentran los niveles de la relación señal-ruido (SNR) y la atenuación en la red eléctrica. Muchos servicios se desarrollan con base en estos estudios, en USA como Europa; uno de los mayores logros fue la implementación de la tecnología SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition). Este sistema de comunicación ya bi-direccional fue desarrollado a fines de la década de los 80's e inicios de los 90's. La principal diferencia, fue el uso de frecuencias mucho más altas, esta característica hizo posible las comunicaciones en dos vías, lo cual permitió

poseer una mejor idea para lograr una transmisión efectiva mediante las líneas de energía eléctrica”<sup>4</sup>.

Hacia 1992 se puso en operación el primer sistema utilizando frecuencias entre 15 y 1500 Khz. Su primera aplicación fue en la transmisión de voz. Usando las tecnologías de modulación digital y decodificación, como las empleadas en los servicios de ADSL para acceso a Internet, permitieron un uso más eficiente de los cables de alta tensión para el envío y recepción de datos, bajo este esquema que también se conoce como Sistema de Frecuencias en la Portadora (CFS).

En 1997, Nortel y una compañía inglesa usan estos antecedentes para crear Digital Power Line, antecesor a PLC/PLT, es así como en Canadá, e Inglaterra se presentó al mercado una tecnología que podía conseguir que Internet fuera accesible desde la red eléctrica, Siemens y ENBW en 1998 hacen madurar la tecnología usando OFDM, llegando a los 1,2 Mbps, aunque luego Siemens abandona PLC/PLT en el 2000. Nació el PLC/PLT comercial. Alemania fue el primer país en ofertarlo y luego le siguió España.

La primera prueba, de Endesa, en octubre del 2000 en Barcelona, consiguió proporcionar teléfono e Internet de banda ancha a 25 usuarios con tecnología ASCOM. La prueba más importante es la realizada en Zaragoza, donde se ensayó la tecnología en un entorno real. Dicha prueba la realizó Endesa de septiembre de 2001 a finales de 2003.

Así esta tecnología se ha estado probando desde hace ya algún tiempo, en más de 18 proyectos pilotos, muchos de ellos en Europa y otros en Hong Kong y Singapur.

Al momento la tecnología sigue desarrollándose, y ya se busca darle un estándar, además se siguen creando chips más eficientes que permiten aumentar las tasa de transmisión debido al uso de técnicas de modulación eficientes en este caso OFDM; de los primeros equipos comerciales que funcionaban a 14Mbps ahora están saliendo al mercado

---

<sup>4</sup> Estudio de Factibilidad para la Implementación de una red LAN con Tecnología “Power Line Communication” para la universidad Técnica de Ambato, Vladimir Jara, 2005, pag. 9



dispositivos a 85Mbps, e incluso ya se tienen construidos chips para tasas de 200Mbps que están por salir pronto.

### 1.3 Importancia

Con el tiempo se ha hecho necesario disponer de sistemas de comunicación para la transmisión de datos y a raíz de ello las compañías han ofertado diferentes sistemas para satisfacer dichas necesidades. Primero fueron los lentos módem vía dial-up que no permitían conexiones rápidas y sobre todo el envío de información masiva, las cuales cabe mencionar aún se usan en el país. Surgieron luego nuevas tecnologías de “Banda Ancha“, conexiones por cable, ADSL y Wireless.

Como se ve en la actualidad la tendencia de los servicios de telecomunicaciones es hacia la banda ancha, con todos los servicios y beneficios que esta traen. Es por esto que Power Line Telecommunication (PLT) se ha visto como una solución de bajo costo y grandes servicios para atender la demanda de una “Banda Ancha Real“.

El sistema PLC/PLT brinda un acceso directo con gran ancho de banda a los usuarios ya sean residenciales, corporativos, industriales, entre ellos PYME y SOHO<sup>5</sup>. Es por esto que algunos países como USA, Colombia, Ecuador, han considerado en sus planes de desarrollo como una tecnología de banda ancha a ser explotada<sup>6</sup>.

El objetivo fundamental de estos planes de desarrollo y en nuestro caso en particular es reducir lo que se llama “La Brecha Digital”, definida como la diferencia entre las personas que cuentan con las condiciones óptimas para utilizar adecuadamente las tecnologías de la información y comunicaciones en su vida diaria y aquellas que no tienen acceso y aunque lo tengan no saben como usarlo<sup>7</sup>.

---

<sup>5</sup> SOHO, Small Office and Home Office

<sup>6</sup> Ley USA, Plan de Desarrollo de la Banda Ancha en Colombia, Plan de desarrollo del Sector de la Comunicaciones del Ecuador.

<sup>7</sup> La Brecha Digital en los países de la Comunidad Andina, Conexión Magazine, Ing. Jairo Gómez.

Es así como la Agenda Nacional de Conectividad del Ecuador, contempla la implementación de una infraestructura de conectividad, que permita a todos los sectores de la sociedad acceder de manera justa y democrática a las tecnologías de la información y comunicaciones, es por esto que como parte de su plan de acción dentro de los próximos años esta el Desarrollo de un proyecto piloto para uso de la red eléctrica de acceso a Internet con tecnología Power Line Communication (PLC/PLT)<sup>8</sup>

El uso de esta tecnología abre un nuevo campo de competencia en telecomunicaciones y un gran mercado que ofrece calidad, alta velocidad y bajo costo. Es por esto que grandes empresas como la empresa Eléctrica Quito, Centro Sur y Transelectric, ya se han empezado a dar los primeros pasos de trabajo con este nuevo sistema y buscan dar una solución de banda ancha para la prestación de servicios de telecomunicaciones, que llegue a rincones donde no están disponibles otras tecnologías, permitiendo además del acceso a la telefonía, a otros servicios como Internet, lo cual ayuda al desarrollo del país, considerando que la red eléctrica posee una cobertura de cerca del 90% del territorio nacional, a diferencia de las redes convencionales de telecomunicaciones que tienen una cobertura aproximada del 15%.

Al llegar la tecnología PLC hasta el tomacorriente de las casas e industrias, las compañías eléctricas tienen todas las cartas en sus manos para ingresar al mercado, sin invertir mayormente en infraestructura, lo que se llama la "última milla" o el acceso final al usuario (abonado); PLC/PLT ofrece llevar Internet a alta velocidad allí donde llega la luz eléctrica sin necesidad de crear nuevas redes y con gran comodidad para el usuario, que sólo tiene que enchufar el PC a través de interfaces PLC/PLT. Por tanto, PLC parte con incuestionables ventajas sobre otras tecnologías de acceso a Internet:

- Velocidades de transmisión de 15, 85 Mbps en el tramo final y hasta 200 Mbps en el futuro (que llegará al usuario compartidos con el resto de abonados), lo que posibilitan la comercialización de servicios que necesitan gran ancho de banda.

---

<sup>8</sup> Diagnóstico de las Políticas de TIC en el Ecuador, Abril de 2005

- No precisa obras ni cableado adicional y el proceso de instalación es rápido y sencillo para el cliente final, lo que facilita la oferta de servicios competitivos en calidad y precio.
- El tomacorriente es la única toma para la alimentación, voz y datos (Internet).
- La conexión es permanente y el servicio eléctrico no se ve afectado.

Además con la aplicación de la tecnología PLC/PLT, todos deberían poder crear, consultar, utilizar y compartir información y conocimientos, permitiendo así que los individuos y comunidades de todo el país utilicen todo su potencial para promover el desarrollo sostenible y mejorar su calidad de vida. Los nuevos medios disponibles para crear, difundir y procesar información mediante redes y tecnologías de la información y de las comunicaciones (TIC) abren esa posibilidad, mediante el uso de esta nueva tecnología de banda ancha<sup>9</sup>.

Debemos mencionar también que las redes eléctricas no han sido diseñadas para el transporte de información con gran ancho de banda, ya que es un medio muy difícil por ser muy ruidoso así como por sus respuestas en frecuencia muy variables; además no han sido diseñadas para tomar precauciones en cuanto a las radiaciones que puedan producir la transmisión a altas frecuencias.

### **1.3.1 Aplicaciones y Servicios**

#### **1.3.1.1 Servicios**

El Internet vía Powerline puede ser disponible de dos maneras:

- Usando las líneas de potencia eléctrica para traer Internet a su casa u oficina desde el servidor del Proveedor de Internet por Powerline a través de un Internet Home Gateway.

---

<sup>9</sup> Políticas públicas para el desarrollo de sociedades de información en América Latina y el Caribe, CEPAL, Naciones Unidas, Junio del 2005.

- Y la otra es distribuyendo una conexión de Internet en su casa o edificio a todas las tomas eléctricas. No importa como llegue el Internet puede venir a través de cable, satélite o microonda.

### 1.3.1.2 Aplicaciones

**Powerline Networking.-** Una red Powerline usa el cableado existente en su hogar para realizar networking. Lo único que se necesita es conectar sus dispositivos a un módem o bridge Powerline y la conexión se realiza, y es así como por ejemplo en el hogar se puede crear una LAN y comunicar:

- Computadores personales
- Impresoras
- Televisores
- Equipos de Música
- Puertos de Acceso a Internet
- Telefonía
- Y otras pequeñas aplicaciones

Y como mencionó, no necesita obras de cableado adicional, la conexión es permanente y el servicio eléctrico no se ve afectado.

### Aplicaciones de Difusión Video

La prestación para aplicaciones de vídeo a través de PLC/PLT es posible teniendo en cuenta que actualmente la red PLC alcanza velocidades de hasta 20 Mbps; si bien el chipset de DS2<sup>10</sup> permite velocidades de hasta 45 Mbps (la siguiente generación alcanzará los 200 Mbps, frente a los 20 Mbps previstos por la tecnología OFDM<sup>11</sup>).

Además las PLC pueden utilizarse como canal de retorno interactivo para las plataformas de TV digital y TV vía satélite.

---

<sup>10</sup> DS2 Design of Systems on Silicon S.A (empresa puntera española que está actuando en América a través de Amperium)

<sup>11</sup> OFDM Orthogonal Frequency Division Multiplexing

Como resultado de la expansión de Internet, el desarrollo de PLC/PLT y la proliferación de nuevos servicios sobre IP, como voz sobre IP, video bajo demanda, difusión de TV sobre IP, juegos en línea, puede considerarse como una realidad, abriendo un amplio abanico de oportunidades para la generación de nuevos ingresos.

## **Control y Seguridad**

Con estas aplicaciones las empresas eléctricas por ejemplo pueden monitorear y llevar un mejor registro de sus abonados mediante tele medición (ARM), descubrir robos en las líneas, etc. Así mismo en lo que respecta a sectores públicos y privados cubre aspectos de seguridad mediante el uso de cámaras de video, sensores de humo, etc.

## **1.4 Proyectos Realizados**

### **Proyecto Opera**

OPERA es el acrónimo de Open PLC European Research Alliance for New Generation PLC Integrated Systems<sup>12</sup>, es un proyecto incluido dentro del sexto programa marco, dentro del área *banda ancha para todos*. Los objetivos del programa son variados. Desde un punto de vista genérico, los principales son crear un estándar abierto, crear una regulación europea y hacer llegar la banda ancha a todos.

El proyecto ya esta en marcha, y para cumplir con los objetivos generales, se han propuesto unos objetivos específicos:

- Incremento de velocidad, de 45 a 200 Mbps
- Reutilización de frecuencias.
- Pasar de soluciones propietarias a estándares internacionales.
- Crear dispositivos de bajo costo y sencillos para permitir una implantación masiva
- Inclusión de dispositivos audiovisuales.
- Garantizar la compatibilidad de la red interna.

---

<sup>12</sup> OPERA [www.opera.org.com](http://www.opera.org.com)

El grupo OPERA es un conjunto de los principales desarrolladores de tecnología PLC: utilidades eléctricas, fabricantes de equipos, proveedores de tecnología, universidades, compañías consultoras de ingeniería y operadores de telecomunicaciones. Y todos se han comprometido a trabajar unidos para alcanzar los objetivos impuestos.

### **RWE y MW (Alemania)**

La evolución de la tecnología de PLC ha llegado al punto en que las iniciativas comerciales son ya posibles. Es el caso de Alemania precursor de esta tecnología, RWE y MW ofrecen comercialmente este servicio desde junio del 2001 y septiembre del 2001, respectivamente con gran cantidad de clientes conectados actualmente. Las ciudades donde se ha ofrecido el servicio son Mannheim, Dresden, Offenbach.

### **Iberdrola (España)**

Iberdrola es una empresa eléctrica con más de 100 años de experiencia. Iberdrola empresa eléctrica privada líder en servicios a nivel mundial, con más de 17 millones de clientes, cuyos servicios se distribuyen entre generación, transmisión, distribución y marketing de electricidad y gas natural. Actualmente, Iberdrola esta también presente en Argentina, Brasil, Bolivia, Chile, Colombia, Guatemala, México, Portugal y otros países.<sup>13</sup>

Esta empresa comercializa PLC en Madrid y Valencia, ha puesto en servicio 90.000 hogares y tiene 4.000 clientes. Ha mejorado su oferta inicial con los servicios PLC 1000 (1 Mbps de velocidad simétrica a 39 euros al mes) y PLC 300 (300 Kbps por 27,90 euros mensuales). La eléctrica conecta sus centrales a Internet mediante redes de fibra, LMDS (radio) y satélite de Iberdrola y su filial Neo-Sky.

### **Endesa (España)**

Luego de las pruebas piloto de Barcelona y Zaragoza, Endesa ha colocado su oferta de PLC, como se ha estado dando ya (la eléctrica posee el 32,8% de Auna). Endesa ha habilitado unos 20.000 hogares para recibir PLC y mantiene 2.000 clientes que se

---

<sup>13</sup> Reporte de presentación de la Arquitectura del sistema PLC y la red eléctrica, OPERA 2005.

abonaron al servicio tras las pruebas. La empresa eléctrica de Puerto Real, que cuenta con capital municipal y de Endesa, inició el lanzamiento comercial de PLC en la localidad gaditana. Ofrece telefonía IP y acceso a Internet a 600 Kbps simétrico (a 21 euros al mes), 1 Mbps (27 euros) y 3 Mbps (33 euros).

### **Laboratorio Siemens en INACAP (Chile)**

En marzo del 2006 se realizó la inauguración del laboratorio PLC-Siemens, en la sede Renca del Instituto Inacap<sup>14</sup>. Gracias a esto, los estudiantes de las carreras de Electricidad y Automatización podrán aprender a utilizar estos equipos, lo que les permitirá contar con ventajas reales a la hora de insertarse en el mundo laboral. Además, los profesionales de Siemens ofrecerán distintas charlas a los alumnos, para profundizar sus conocimientos.

### **México**

En México, sin embargo, sí se ha probado con éxito PLC para llevar Internet a zonas rurales de difícil acceso para otras tecnologías. Es así que el primero de febrero de 2005. El presidente Vicente Fox Quesada hizo la primera llamada pública en la historia de México por medio del sistema Power Line Communications (PLC).

En los últimos tiempos muchos son los países que han empezado a dar servicios con la Tecnología PLC, así se puede ver varios de ellos en la tabla 1.1.

En EEUU la tecnología PLC/PLT, llamada por ellos BPL a tomado gran auge, son los principales promotores del desarrollo la misma, es así que poseen proyectos pilotos en 56 ciudades de 24 estados, como USA Virginia en Manassas, 35.000 casas, 10 Mbit/s. a US\$30 hasta octubre 2005. Otro punto a resaltar es que no solo han sido iniciativas privadas sino también estatales como se propuso en el Estado de California, masificar PLT el 27 abril del 2006. Además ya existe una cierta implantación de la tecnología “PLC in-home” a lo largo del país

---

<sup>14</sup> Nuevo Laboratorio Siemens en INACAP, página web de Siemens Chile, 2006

Tabla 1.1 Pruebas Comerciales con tecnología PLC

País	Operador	Servicios	Cobertura	Tecnología
<b>Despliegue comercial</b>				
Alemania	MW	PLC en acceso: servicios de Internet para segmento residencial	2.200 clientes en Mannheim	Mainnet
	EnBW	PLC en acceso e In-home: servicios minoristas de Internet (hoteles y escuelas)	700 clientes en Ellwagen	Ascom
	RWE (1)	PLC en acceso e In-home: servicios de Internet.	-	Ascom
Austria	Linz Strom AG	PLC en acceso e In-home: servicios minoristas de Internet y telefonía	800 clientes en Linz	Mainnet
	Tiwag	PLC en acceso: servicios minoristas de Internet (residencial, hoteles y escuelas)	250 clientes en Tirol	Ascom
Suiza	EFF	PLC en acceso: servicios mayoristas de Internet (acuerdo con ISP Sunrise)	1.000 clientes en Ginebra	Ascom
Suecia	Vattenfall	PLC en acceso: servicios de Internet para segmento residencial	500 clientes en l. Gotland	Mainnet
España	Endesa	PLC en acceso: servicios mayoristas de Internet y telefonía (acuerdo con AUNA)	2.200 clientes en Zaragoza <sup>1</sup>	DS2
	Iberdrola	PLC en acceso: servicios mayoristas de Internet	200 clientes en Madrid <sup>2</sup>	Nams, Ascom y DS2

Tabla 1.2 Pruebas Piloto con tecnología PLC

España	Unión Fenosa	PLC en acceso e In-home: servicios de Internet y telefonía	50 usuarios Guadalajara y Madrid	Mainnet y DS2
Italia	Enel	PLC en acceso: servicios minoristas de Internet y telefonía	2.000 usuarios en Grosseto	Ascom, DS2 y Mainnet
Portugal	EDP	PLC en acceso: servicios minoristas de Internet y telefonía	300 usuarios en Lisboa	DS2
Holanda	Nuon	PLC en acceso: servicios mayoristas de Internet (acuerdo con Disgistrom)	250 usuarios en varias ciudades	Mainnet
Francia	EdF (2)	PLC en acceso: servicios minoristas de Internet	40 usuarios en Estrasburgo	Ascom, DS2 y Mainnet

Así existen otros programas pilotos como en Brasil (Copel&RWEPOWERNET), Dinamarca (NESA), Finlandia (Jykáskila, Sener), Francia (EDF, France Telecom), Hong Kong (Ladvantage), Islandia (Lina.Net), Suiza (Austria diAX), Singapur (Singapur Power), Korea (KEPCO), Italia (Enel), etc.

### 1.5 Empresas Proveedoras de Servicios y Tecnología PLC/PLT



## **Empresas Proveedoras de Servicios**

Los servicios de Internet a alta velocidad están comercialmente disponibles en varios países Europeos.

En Alemania, el servicio es comercialmente ofrecido en la ciudad de Mannheim bajo el nombre comercial “Vype”; en la ciudad de Hameln bajo el nombre de “Piper-Net”, en la ciudad de Dresden como “PowerKom”, y en la ciudad de Offenbach como “EVOpowerline”.

En España Endesa en las ciudades de Barcelona y Zaragoza; Iberdrola comercializa PLC en Madrid y Valencia; y Unión Fenosa.

En Portugal, Energías de Portugal (EDP) utiliza al operador de telecomunicaciones ONI (que también ofrece ADSL) para comercializar PLC (Oni220 Powerline).

En Austria, el servicio es comercializado y ofrecido en la ciudad de Linz bajo el nombre de “Speed-Web”.

En Polonia, el servicio es ofrecido en la ciudad de Krakow. Así mismo en Escocia, el servicio es ofrecido en las ciudades de Crieff y Campbeltown bajo el nombre de “Broadband”.

Basados en estos desarrollos exitosos, varias Empresas Eléctricas en todo el mundo están ofreciendo el servicio a sus clientes como un servicio pre-comercial, en preparación para un lanzamiento completamente comercial.

## **Proveedoras de Tecnología**

Hay que mencionar aquellas empresas proveedoras de tecnología Powerline, en sus inicios ASCOM era la que más brillaba, más poco a poco a sido algo desplazada por otras compañías gracias a sus grandes avances y desarrollos sobre la tecnología.

Compañías como DS2, diseñan chips capaces de alcanzar velocidades de transmisión de hasta 200 Mbps sobre líneas de Baja y Media Tensión, rivalizando así con las redes

metropolitanas y de acceso, a la vez que permite extender a los Operadores ofertas de servicios finales incluyendo voz, datos y video (triple play) en la misma infraestructura.

La situación actual de la tecnología PLC queda definida en el siguiente cuadro:

**Tabla 1.3 Proveedores de Tecnología**

	<b>ASCOM</b>	<b>MAINNET</b>	<b>DS2</b>
<b>Posicionamiento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Solución en acceso (no contempla MT)</li> <li>Solución in-home</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Solución en acceso (contempla MT)</li> <li>Solución in-home</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Solución en acceso (contempla MT)</li> <li>Solución in-home</li> </ul>
<b>Diseñadores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sí</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sí</li> </ul>
<b>Fabricantes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sí</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sí</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No</li> </ul>
<b>Características técnicas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>AB máximo: 4,5 Mbps</li> <li>Modulación: GSMK</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>AB máximo: 4,5 Mbps</li> <li>Modulación: DSSS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>AB máximo: 45 Mbps</li> <li>Modulación: OFDM</li> </ul>
<b>Baja tensión (BT)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chipset PROPIO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chipset ITRAN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chipset PROPIO</li> </ul>
<b>Media tensión (MT)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Disponible con chipset ITRAN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Disponible con chipset PROPIO</li> </ul>
<b>VoIP</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Disponible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Disponible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Disponible</li> </ul>
<b>Roadmap de producto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MT disponible con chipset DS2 en 1Q2003</li> <li>BT disponible con chipset DS2 en 2004</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MT disponible con chipset DS2 en 2004</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nuevo chipset 200 Mbps en 2Q2003 para MT y BT</li> </ul>
<b>Pruebas PLC en Europa con:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>EDF</li> <li>EEF</li> <li>EnBW</li> <li>ENDESA</li> <li>ENEL</li> <li>TIWAG</li> <li>IBERDROLA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>EDF</li> <li>LINZ STROM</li> <li>MW</li> <li>NUON</li> <li>ENEL</li> <li>UNIÓN FENOSA</li> <li>VATTENFALL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>EDP</li> <li>ENDESA</li> <li>ENEL</li> <li>UNIÓN FENOSA</li> <li>IBERDROLA</li> </ul>

*Fuente: Unión Fenosa - UFINET*

La mayoría de empresas fabricantes, líderes a nivel mundial han visto negocio en comercializar dispositivos, en especial para crear redes LAN, como las de la figura 1.1:

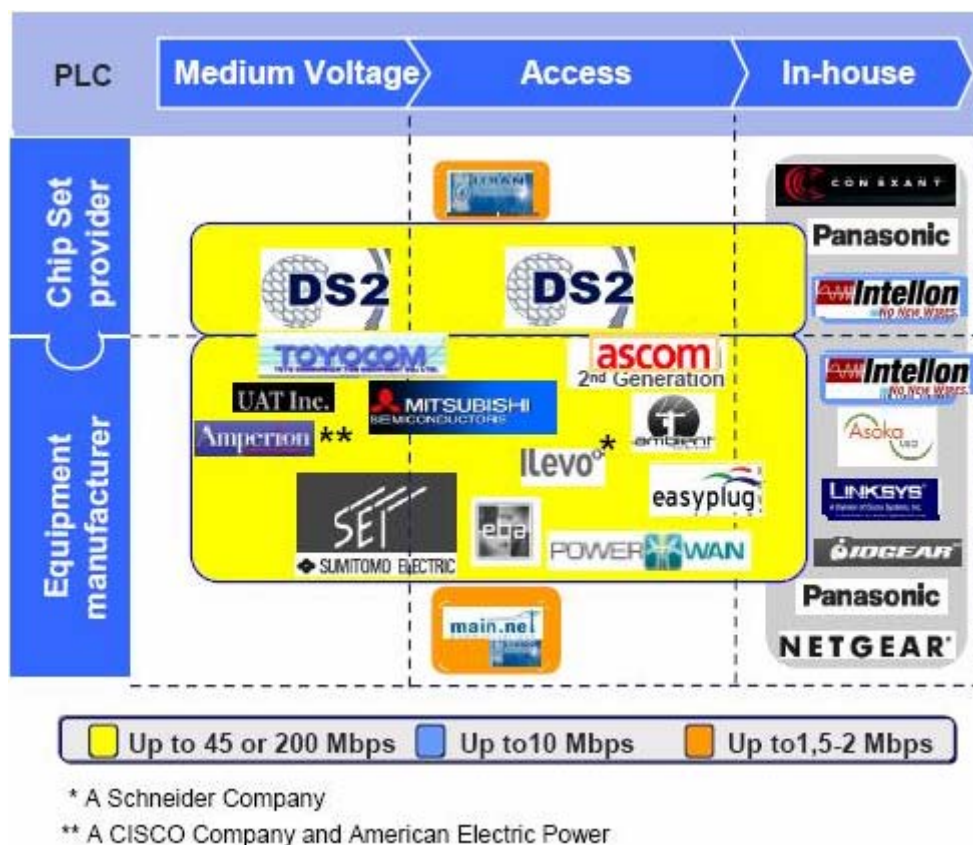


Figura 1.1 Proveedores y Fabricantes

A estas se han sumado otras como Siemens, SMC, TRENDnet, Belkin, Corinex, Gigafast y se piensa que muy pronto se sumarán otras más.

### 1.6 Resumen de Análisis

Luego de realizar una breve introducción sobre la tecnología, en los siguientes capítulos abordaremos algunos aspectos con mayor profundidad como las partes y elementos más necesarios e importantes a tomar en cuenta en el despliegue de esta tecnología sobre las redes ya instaladas. Ya que las dificultades para transmisión de datos a Alto Voltaje son mayores debido a niveles de asilamiento, distancia y costo, no se los considera para el análisis y se toma más en cuenta Medio y Bajo Voltaje considerando propiedades y características generales, como: impedancia, niveles de ruido, acoples, etc; con más razón en la red de abonado objeto de nuestro estudio.

Dentro de los puntos relevantes que marcan el desempeño de la tecnología analizaremos el cableado, lo referente a los acopladores de señal a las líneas de medio y bajo voltaje, cuyo objetivo es inyectar/separar las señales del módem y la línea AC. también desarrollaremos la temática sobre las técnicas de modulación usadas para transmitir los datos.

El conocimiento o introducción a estos conceptos particulares nos ayudará a entender y proponer pruebas de laboratorio puntuales que son el objetivo de esta tesis de grado; y a partir de ellos analizar los resultados obtenidos, dejado planteada la metodología de las pruebas para que puedan ser repetidas posteriormente por cualquier lector interesado e incluso sirva de base para posteriores proyectos.

## **CAPITULO 2**

# **EVALUACIÓN DE LAS REDES DE POTENCIA ELÉCTRICA PARA PLT/PLC**

### **2.1 Red de Suministro de Energía Eléctrica**

El ámbito que alcanza PLC/PLT depende de la red de suministro de energía eléctrica ya instalada y sus parámetros, la cual consta de tres niveles: alta, media y baja tensión; cada una de ellas posee diferente potencial en todo su cableado, y estas cambian según las posibles pérdidas y necesidades. Las líneas de energía eléctrica representan así una interesante posibilidad de acceso a pesar que las mismas no fueron diseñadas para transmitir datos. Esta es la razón por la cual servicios de transmisión de datos de alta velocidad que quieran utilizar este medio deben cumplir ciertos requerimientos, los mismos pueden ser: requerimientos de compatibilidad electromagnética, efectos del medio, etc.

#### **2.1.1 Producción y Transporte**

La red eléctrica consta de tres etapas: generación, transporte y distribución.

- **Generación:** Es la producción de electricidad en las estaciones o plantas generadoras.

- Transporte: La transmisión de la electricidad de alto voltaje hacia las estaciones transformadoras.
- Distribución: Consta de la Transmisión de electricidad en media y baja tensión, incluyendo la entrega a los usuarios finales.

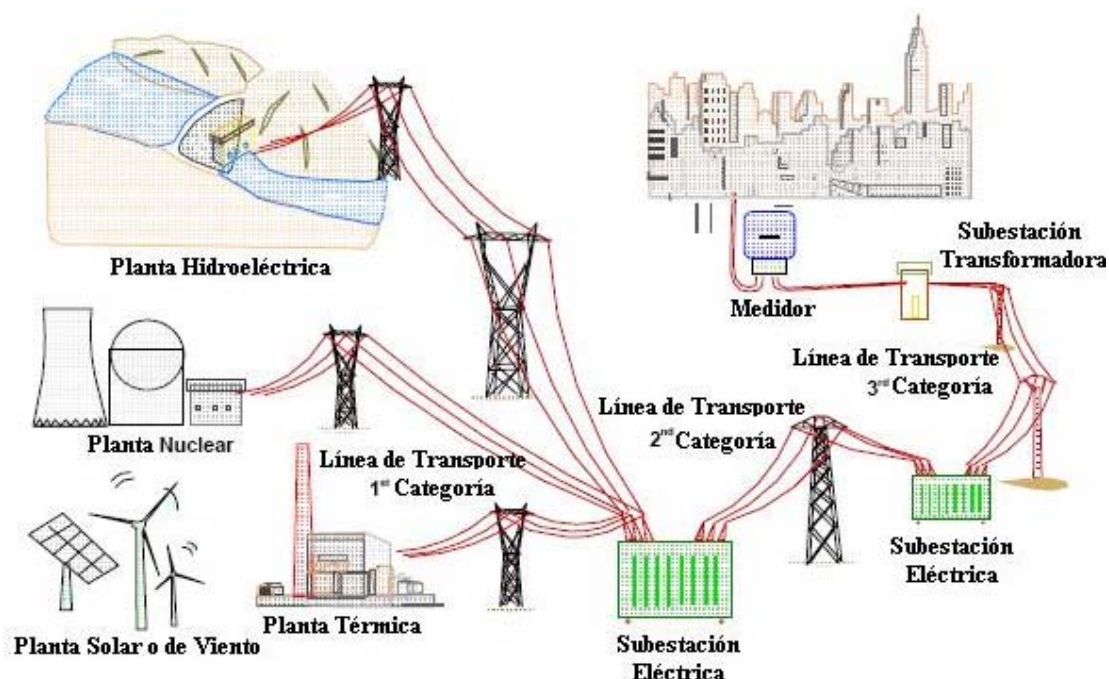


Figura 2.1 Esquema general de una red eléctrica

Las plantas eléctricas convierten la energía almacenada en los combustibles (carbón, aceite, gas, nuclear) o en fuentes renovables (agua, viento, sol) en energía eléctrica. La electricidad circula hacia un transformador para cambiar una gran corriente y bajo voltaje en una de baja corriente y alto voltaje, esto para reducir las pérdidas por la transmisión. Luego la energía eléctrica circula sobre líneas de transmisión de alto voltaje a una serie de subestaciones transformadoras donde el voltaje es reducido a través de transformadores a niveles apropiados para la distribución a los clientes (120-480 V).

### 2.1.2 Red de Distribución

En la red de distribución eléctrica, las líneas de distribución que parten desde las centrales eléctricas y llegan hasta los hogares, están conformadas por diferentes niveles y cada una de ellas poseen ciertas características: redes de alta, media o baja tensión.

### **2.1.2.1 Alta Tensión**

En esta parte de la red se transporta la energía con voltajes entre (400-132 KV) muy alto voltaje o (66-30 KV) alto voltaje, además el objetivo de transmitir la energía en estos rangos de voltaje es minimizar las pérdidas, ya que estas se utilizan para cubrir grandes distancias.

Es frecuente que las empresas eléctricas pongan una infraestructura de telecomunicaciones en este segmento, frecuentemente en base a fibra óptica que utiliza el tendido eléctrico como soporte; También transportan señales de telemetría, información de supervisión y órdenes de reconfiguración de la red.

### **2.1.2.2 Media Tensión**

En las líneas de media tensión se transporta energía en voltajes entre 11 y 20 KV o similares. Y tal como en la red de alta tensión el objetivo es minimizar las pérdidas por transmisión.

Este tipo de red cubre distancias menores que la red de alta tensión, sin embargo se mantiene el transporte de señales de telemetría, información de supervisión y órdenes de re-configuración de la red.

### **2.1.2.3 Baja Tensión**

En la red de baja tensión las líneas transportan energía con voltajes entre 110 y 480 V, es por esto que esta red se encarga de distribuir la energía hasta el usuario final. En este segmento, varios abonados están conectados a la misma fase, es decir, constituye un medio compartido. Se puede mencionar también que el número de abonados que reciben servicio desde un transformador varía de país a país, por ejemplo en Europa esta alrededor de 150, en China 250 y USA como 15 abonados, mientras en Ecuador alrededor de 20 a 30 abonados por cada transformador.

Debemos mencionar también que las redes eléctricas no han sido diseñadas para el transporte de información con gran ancho de banda, ya que es un medio muy difícil por ser muy ruidoso así como por sus respuestas en frecuencia muy variables; además no han sido diseñadas para tomar precauciones en cuanto a las radiaciones que puedan producir la transmisión a altas frecuencias.

## **2.2 Elementos que constituyen la Red Eléctrica de Media y Baja Tensión**

El objetivo de este punto es identificar y describir los varios elementos que se puede encontrar en una red eléctrica y su relevancia desde el punto de vista de PLC/PLT.

### **2.2.1 Elementos en Medio Voltaje**

#### **2.2.1.1 Subestaciones Eléctricas**

Una subestación eléctrica es parte de la red eléctrica de transmisión y distribución, donde los voltajes son transformados de bajo a alto y viceversa, usando transformadores. Básicamente consisten de un complejo conjunto de equipos de control, switching, y manejo de voltajes step up y step down, conectados directamente al flujo de corriente eléctrica, convirtiendo muy alto voltaje (400-132 KV) o alto voltaje (66-30 KV o similar), en medio voltaje (11-20 KV o similar) o viceversa.

La transformación puede hacerse en varias etapas y en varias subestaciones en secuencia, comenzando en la subestación de la planta generadora donde el voltaje es elevado con fines de transmisión y luego progresivamente reducido a voltajes requeridos para usos comerciales, industriales y residenciales.

Las funciones de una subestación eléctrica pueden ser recogidas en tres categorías:

- Seguridad: Separar del sistema activo aquellas partes en las cuales una falla eléctrica ha ocurrido.
- Operación: Esto permite optimizar la red de distribución eléctrica desde el punto de vista de la seguridad y la minimización de pérdidas de energía. Esto también



permite separar partes de la red para realizar las funciones necesarias de mantenimiento o la instalación de nuevos equipos.

- **Interconexión:** Permite interconectar dos redes eléctricas con diferentes voltajes, es decir transformadores de potencia, conectar generadores a la red de distribución, e interconectar varias líneas con el mismo nivel de voltaje.

Las subestaciones no necesariamente tienen un generador, aunque una planta eléctrica siempre tiene una subestación cerca.

Las subestaciones eléctricas son de los factores más importantes en una red de distribución eléctrica. Una subestación puede alimentar varias subestaciones transformadoras en medio voltaje y cada subestación transformadora a su vez alimenta varios cientos de usuarios finales. Usualmente estos elementos son operados remotamente a través de telecontrol por medios de transmisión aceptables como fibra óptica, enlaces de radio u otras tecnologías disponibles. Aunque estas instalaciones son susceptibles a ser puntos de acceso PLC/PLT al backbone de la red y crear una red de distribución PLC/PLT a través de la red eléctrica de medio voltaje. Como resultado los equipos acopladores deben ser colocados en los paneles de medio voltaje, o en postes en caso de subestaciones al aire libre.

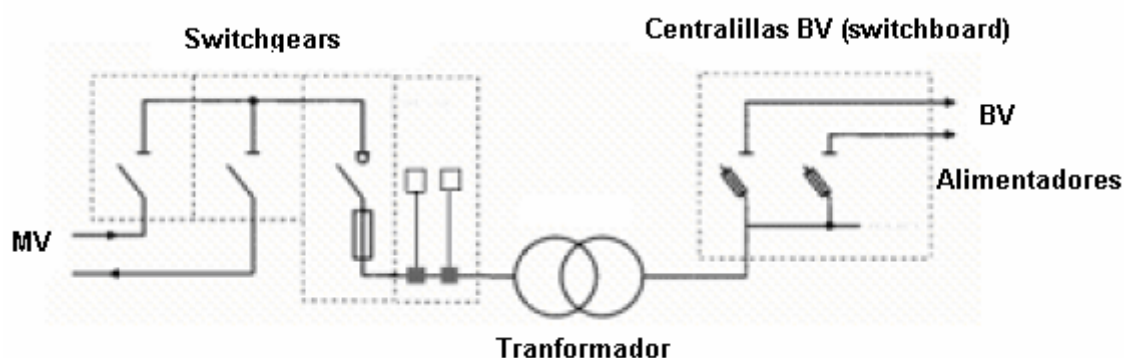
### **2.2.1.2 Subestaciones Transformadoras**

Las subestaciones transformadoras (ST), son aquellos elementos incluidos en las redes de medio voltaje, donde la señal eléctrica es convertida a bajo voltaje ( $< 1\text{KV}$ ) por acción de los transformadores. Desde la subestación transformadora, las redes eléctricas de bajo voltaje son desplegadas para alcanzar a los usuarios.

El estudio y entendimiento de las subestaciones transformadoras y sus elementos son la llave en el desarrollo de las redes de media y baja tensión para PLC/PLT, esto debido a que los acopladores y equipo PLC/PLT son instalados aquí.

Las partes principales de una subestación transformadora son:

- Líneas de Medio Voltaje.- Son líneas eléctricas que soportan voltajes y corrientes específicas, las cuales provienen de una subestación y entregan electricidad a las subestaciones transformadoras.
- Switchgears o Paneles de Medio Voltaje.- Son dispositivos cuyo propósito es separar e interconectar diferentes elementos de distribución como transformadores y líneas de medio voltaje.
- Transformador.- Es un dispositivo que reduce el voltaje de una línea de distribución eléctrica (2.4-35 KV) a bajos voltajes (120-480 V).
- Centralillas de Bajo Voltaje.- Un solo panel, marco o arreglo de paneles los cuales distribuyen la electricidad del secundario del transformador hacia los diferentes alimentadores de baja tensión. Las centralillas de baja tensión pueden tener switches, protección de sobrecorriente y otros dispositivos más.
- Alimentadores de bajo Voltaje.- Líneas eléctricas que soportan voltajes y corrientes específicos las cuales entregan electricidad a los usuarios.



**Figura 2.2 Diagrama de una Subestación Transformadora**

Las subestaciones transformadoras pueden estar localizadas en diferentes lugares dependiendo de la topología eléctrica y las necesidades de cada caso. También pueden ser clasificadas en dos grupos de acuerdo con el sitio del transformador de media a baja tensión: Indoor y outdoor.

Los lugares más comunes para colocar las subestaciones transformadoras indoor son:

- Tipo casa (en la superficie).- En este caso las líneas de medio voltaje pueden alcanzar la subestación transformadora ya sea por cables aéreos o subterráneos.

- Subsuelo de los edificios.- Estas subestaciones transformadoras están instaladas en los subsuelos de los edificios y su estructura y operación es igual al de las otras.

Cabe mencionar que varias líneas de bajo voltaje salen de cada subestación transformadora las cuales pueden proveer energía eléctrica a edificios cercanos.

Mientras que los lugares más comunes para las aplicaciones outdoor son sobre un poste.

### **2.2.1.3 Líneas de Medio Voltaje**

Las líneas de medio voltaje son el elemento que lleva la energía eléctrica en la parte de distribución de medio voltaje. Los cables son seleccionados según ofrezcan una facilidad para la operación continua y sin fallas del servicio eléctrico, además deben ser aptos para resistir demandas inesperadas o condiciones de sobrecarga.

Existe una gran cantidad de cables y muchas clasificaciones pueden darse. Por el momento se clasificará de acuerdo a los materiales del conductor. Los más usados son el cobre y el aluminio considerado mucho más barato. Otra clasificación se la podrá realizar considerando la sección del cable. Dependiendo de la potencia manejada la sección de los cables varía, alta potencia requiere mayores secciones. Sin embargo la clasificación más común se refiere al lugar donde se los puede encontrar, es decir aéreos o subterráneos.

#### **2.2.1.3.1 Cables aéreos**

Estos cables aéreos son puestos en postes. Estos postes pueden ser hechos de madera, hierro, concreto, además se pueden encontrar diferentes configuraciones como: un circuito por poste o más de uno por poste.

En general los conductores son de cobre, en lo últimos años, se ha tendido a utilizar conductores de aluminio. Existen cuatro importantes tipos de conductores aéreos.

- AAC (Conductores todo de aluminio).- Estos tienen un mayor uso en las áreas urbanas donde los tramos son cortos pero con requerimientos de alta conductividad, se los usa también en la costa debido a su alto grado de resistencia a la corrosión.
- ACSR (Conductor de Aluminio reforzado con acero).- Este tipo de conductor posee un centro de acero recubierto por una o varias capas de aluminio, sirve para tramos mayores, soporta menos pero tiene mayor resistencia frente al viento o hielo.
- AAAC (Conductor con todo aleación de aluminio).- Esta hecho de una aleación de aluminio-magnesio y silicio, para darle mayores propiedades metálicas, posee una mejor resistencia a la corrosión y mayor relación fuerza-peso y sobre todo mejora la conducción eléctrica con respecto al ACSR, usado mucho en las zonas costeras.
- ACAR (Conductor de aluminio reforzado con aleación de aluminio).- Es una mezcla del AAC y AAAC, esto para lograr un excelente balance entre las propiedades mecánicas y eléctricas.

Para la mayoría de aplicaciones urbanas y rurales, el tipo ACC posee suficiente fuerza y muy buenas características termales para un peso dado. En áreas rurales se puede utilizar pequeños conductores y mayores distancias entre postes, Así que el ACSR u otro con alta fuerza resistiva puede ser apropiado. Estos cables pueden ser aislados o no aislados.

En Ecuador<sup>15</sup>, casi en su totalidad, las líneas de 230 KV y las de 138 KV, han sido construidas en torres de acero galvanizado y conductores ACSR.

#### **2.2.1.3.2 Cables Subterráneos**

Estos cables se encuentran bajo tierra, se encuentran escondidas a la vista, más seguras debido a un menor grado de contacto accidental, confiables, con menor costo por mantenimiento. Sin embargo su costo de instalación es mucho mayor que el aéreo.

#### **2.2.1.4 Switchgear**

---

<sup>15</sup> Situación del Sector Eléctrico Nacional, CONELEC, 2000

Generalmente el término switchgear se lo entiende como un complejo dispositivo para aislar e interconectar diferentes elementos entre medio y alto voltaje, como son alimentadores (feeders) y transformadores. Para complementar las dos funciones principales son: protección e interconexión. La primera debe conectar, desconectar y proteger el transformador; la segunda es usada para operar las líneas de entrada y salida a nivel de medio voltaje en el circuito alimentador que va hacia el transformador. Los switchgears son los elementos más importantes en la red PLC/PLT de medio voltaje. Dentro de ellos se encuentran usualmente las unidades acopladoras PLC/PLT, ya que en este punto es donde terminan los cables de medio voltaje. Por esta razón muchas veces el tipo de switchgear condiciona el tipo de acoplador PLC/PLT usado, dependiendo del espacio uno u otro acoplador debe ser usado.

#### **2.2.1.5 Circuitos con Breakers y Switches**

Los circuitos con breakers y switches son dispositivos similares. Según la ANSI define a un circuito con Breaker como un dispositivo mecánico de cambio, capaz de preparar, llevar y parar corrientes bajo condiciones normales, así como parar la corriente bajo condiciones anormales del circuito como son los cortos circuitos. El Switch provee funciones similares al de los breakers, pero no puede impedir fallas de corriente.

Estos dispositivos son importantes para el PLC/PLT porque pueden influenciar al nivel de acoplamiento de señal en las líneas de medio voltaje. De hecho los acopladores inductivos no funcionan cuando el circuito esta abierto, esto es debido a que la posición del switch modifica la impedancia de la línea de medio voltaje.

Dependiendo de la operación podemos dividir en dispositivos manuales, en los cuales un técnico esta encargado de las tareas, y automáticos, que con tan solo adicionar al switch un motor accionador y controlador se puede operar el mecanismo.

El telecontrol de los switches puede usar PLC/PLT como tecnología de comunicación, porque se sabe que se ha usado por años con pequeños anchos de banda (Tecnología conocida como Power Line Carrier).

### 2.2.1.6 Bushings/Aisladores

Según la ANSI/IEEE es una estructura aisladora, incluida con conductor o proveyendo un paso central para tal conductor. El propósito de un aislador es transmitir la energía eléctrica dentro o fuera de un aparato eléctrico como un transformador, circuitos de breakers, reactores shunt, capacitores de potencia, etc.



Figura 2.3 Bushing tipo sólido

### 2.2.1.7 Fusibles

Son dispositivos muy útiles de los más simples y antiguos que existen, son relativamente baratos, no necesitan dispositivos adicionales, confiables y disponibles en varios tamaños. En medio voltaje se los encuentra en varios lugares como: en conjunto con breakers, transformadores, líneas de medio voltaje, etc.

### 2.2.1.8 Unidades de Telecontrol

Sirven para controlar el abrir y cerrar de los switchgear eléctricos. Este control permite una configuración dinámica de la topología de la red de distribución de medio voltaje. Generalmente estas unidades de telecontrol están hechas de dos módulos: el módulo de comando y el módulo de telecomunicaciones.

El módulo de comando es el dispositivo mecánico el cual maneja el abrir y cerrar del comando. El módulo de telecomunicaciones es responsable por las comunicaciones entre el módulo de comando y el centro de control.

### **2.2.1.9 Transformadores de Media/Baja Tensión**

Los transformadores de media/baja tensión o transformadores de distribución reducen el voltaje de una línea de distribución eléctrica (2.4-35 KV) a bajos voltajes (120-480 V) aptos para los equipos de los usuarios. El primario acepta la energía, mientras el secundario es el que entrega la energía.

De manera general, los transformadores de medio/bajo voltaje se pueden clasificar de acuerdo a tres aspectos.

- Tecnología de Enfriamiento.- Se refiere a aquella tecnología usada para enfriar el transformador, ya sumergida en un líquido o del tipo seco.
- Conexión.- Se refiere al número de fases de servicio que el transformador entrega, normalmente hay transformadores de una o tres fases.
- Localización.- Se refiere al lugar donde se encuentra el transformador: aéreo, sobre la superficie o subterráneo.

### **2.2.2 Elementos en Bajo Voltaje**

Aunque desde el punto de vista del voltaje, el bajo voltaje comienza desde el secundario del transformador de medio a bajo y termina en el tomacorriente del usuario final, además es dividida en dos partes: la red de distribución pública y la red interna de abonado.

Esta división es importante desde varios puntos de vista: uso, propiedad, responsabilidad. El uso y manejo de las redes públicas es responsabilidad de la empresa eléctrica. En cambio cada usuario tiene toda la responsabilidad en sus instalaciones. Generalmente el punto de separación entre las dos es el breaker asociado al medidor.

### **2.2.2.1 Centralillas (Switchboards)**

Es el primer elemento de la red de baja tensión instalado luego del transformador. Esta conectado directamente a la salida de baja tensión del transformador y sirve para distribuir la energía a los alimentadores de las diferentes líneas de salida de baja tensión. Provee también switching de encendido y apagado y facilidades de protección asociadas a cada alimentador.

### **2.2.2.2 Líneas de Bajo Voltaje**

Se utilizan para distribuir la energía desde los alimentadores de la subestación transformadora a los usuarios, existen líneas aéreas o subterráneas. La elección depende mucho de criterios como costos, la topología existente, planos urbanos, etc.

#### **2.2.2.2.1 Líneas Aéreas**

Generalmente este tipo de líneas de transmisión son usadas en áreas rurales o sub-urbanas, donde no se justifica el alto de costo de líneas subterráneas (aunque en nuestro país se encuentran también en zonas urbanas). Se puede encontrar dos tipos de líneas aéreas: con aislamiento y sin aislamiento.

- Sin aislamiento, están suspendidos uno sobre el otro en postes, generalmente el más alto es el neutro, y los otros tres las fases, a veces existe un quinto cable que alimenta al servicio de alumbrado público. Los conductores de cobre han sido usados por largo tiempo, aunque actualmente están siendo fabricados de aluminio. Los postes de sostén pueden ser de madera o de concreto.
- Los cables con aislamiento son ahora usados en la parte de medio voltaje debido a ciertas ventajas de carácter económico y técnico sobre los sin aislamiento, como son: seguridad, baja pérdida de voltaje, mejora de la continuidad de servicio, reducción de riesgo de producir fuego en zonas boscosas, mantenimiento, etc.

Los cables de conexión hacia el usuario desde la línea de media tensión están hechos de 2 (1 fase + neutro) o 4 (3 fases + neutral) conductores aislados.



#### **2.2.2.2.2 Líneas Subterráneas.**

En nuestro país se esta tendiendo al uso de líneas subterráneas. Para conexión al usuario se utiliza un cable con cuatro núcleos de secciones estándar con las cuales se conecta a la parte de media tensión, pueden ser de cobre o aluminio, que pueden o no tener un recubrimiento metálico como protección.

#### **2.2.2.3 Splices**

Los splices son usados para crear puntos de unión en la red, es decir donde son necesitados como: extensiones, reparaciones de cable dañado, puntos de derivación, etc. Y el método de unión el uso de uniones tipo “manga” y para esto hay diferentes kits.

#### **2.2.2.4 Gabinetes de Calle**

Son dispositivos de cambio en la red, permitiendo interconexión o abriendo puntos entre líneas de baja tensión. Son usados particularmente en redes compartidas o abiertas.

#### **2.2.2.5 Cajas de Fusibles**

Al comienzo de la red de distribución de baja tensión son instalados protecciones y dispositivos de cambio. Su función es proteger la red de distribución pública en caso de corto debido a que no hayan soportados los dispositivos de protección de los usuarios. Esta caja de fusibles debe ser instalada afuera de los edificios y si es interno debe estar al alcance de la empresa eléctrica.

#### **2.2.2.6 Cuarto de Medidores.**

Los cuartos de medidores concentran en un mismo lugar todos los medidores, protecciones y dispositivos de un edificio.

### **2.2.2.7 Medidores**

Los medidores pueden, ser tratados según principio de funcionamiento, electromecánico o electrónico; por el tipo fases, el tipo de servicio o el voltaje que maneja. Su localización es variada puede estar afuera o dentro de la casa junto al circuito general de breakers, el punto es que debe estar accesible para su lectura por parte de la empresa eléctrica.

### **2.2.2.8 Protecciones en Casa**

Luego del medidor y el circuito de breakers, varios circuitos alimentan los equipos eléctricos del usuario, por lo que se pueden encontrar, fusibles en el caso de instalaciones antiguas o pequeños breakers en las más actuales.

## **2.3 Parámetros Técnicos de las Líneas de Transmisión**

Para analizar los parámetros técnicos de las líneas de transmisión se debe considerar como líneas de transmisión de dos cables paralelos, y a partir de este modelo analizar sus parámetros o constantes primarias y secundarias, las diferentes topologías y estructuras de los sistemas eléctricos de potencia tanto para las líneas de alto voltaje como de medio y bajo voltaje, el efecto del ruido y frecuencia.

Propagar señales de baja frecuencia (60Hz) es bastante sencillo y predecible el comportamiento de la línea de transmisión. Sin embargo al propagar las señales a altas frecuencias (1-30 MHz) las características de las líneas de transmisión se vuelven más complicadas y su comportamiento es algo peculiar.

### **2.3.1 Extra Alto y Alto Voltaje**

Los circuitos de alto voltaje son implementados casi exclusivamente en forma de líneas aéreas trifásicas balanceadas. Asumiendo que estas redes son apropiadamente simétricas, es decir esta configuración se logra usando el mismo material y la misma

geometría en los conductores, se considera suficiente una sola fase para el cálculo de los sistemas trifásicos.

Así cuando la distancia entre los conductores es mucho más pequeña que la longitud de onda de la señal transmitida, que es el caso de las líneas de alto voltaje, la energía se concentra entre los conductores y se comporta igual que una línea bifilar aislada, es por esto que para el caso de telecomunicaciones podemos realizar el análisis modelándola como una línea de transmisión de dos conductores paralelos.

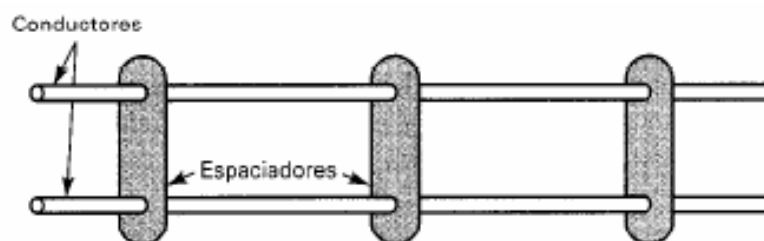


Figura 2.4 Línea de Transmisión cable abierto

### 2.3.1.1 Parámetros Primarios

Las características de una línea de transmisión se determinan por sus propiedades eléctricas, como conductancia de los cables, la constante dieléctrica del aislante y sus propiedades físicas, como diámetro del cable y los espacios del conductor. Estas propiedades a su vez determinan las constantes eléctricas primarias: resistencia de CD en serie ( $R$ ), inductancia en serie ( $L$ ), capacitancia de derivación ( $C$ ), y la conductancia de derivación ( $G$ ). La resistencia y la inductancia ocurren a lo largo de la línea, mientras que entre los conductores ocurren la capacitancia y conductancia<sup>16</sup>.

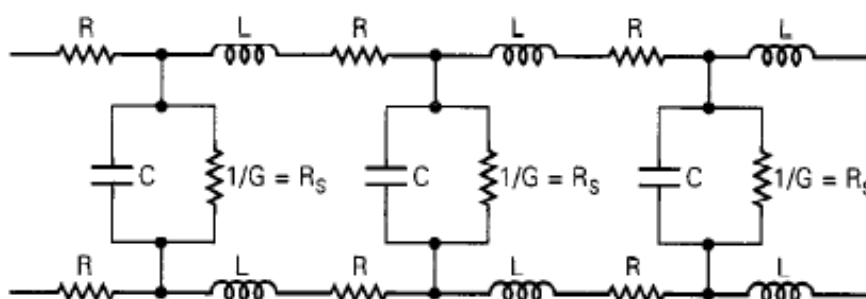


Figura 2.5 Línea de Transmisión de dos Cables Paralelos, circuito eléctrico equivalente

<sup>16</sup> Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Wayne Tomasi, segunda edición, 1996

## Resistencia

La resistencia de los conductores es una de las causas más importantes en la pérdida de potencia de las líneas de transmisión. Para una línea bifilar la resistencia se puede calcular con diferentes expresiones<sup>17</sup> dependiendo si se manejan bajas o altas frecuencias. Para realizar este análisis tomaremos en cuenta la forma de respuesta:

Así para bajas frecuencias se usará la fórmula: 
$$R = \frac{2}{\sigma_c \pi \cdot r^2} \quad (2.1)$$

Donde:

$r$  = Radio Interno del Conductor

$\sigma_c$  = Conductividad del Material Conductor

Para el caso de altas frecuencias:

$$R = \frac{1}{\sigma_c \pi * ra} ; \quad a = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \sigma}} \Rightarrow a \text{ (cm)} = \frac{8.47}{\sqrt{f \text{ (Hz)}}} \quad (2.2)$$

Donde:

$u$  = Permeabilidad del Medio

$\sigma_c$  = Conductividad del Material Conductor

$a$  = Profundidad de penetración

Siendo el caso que los conductores estén separados por aire  $u = u_0 = 4 \pi \times 10^{-7}$  H/m, y usando al aluminio como el material para más usado en las líneas de alto voltaje su conductividad es  $\sigma = 3.53 \times 10^7$  s/m.

Así por ejemplo para comparar, un conductor de 1cm (típico de líneas de 500KV) la resistencia efectiva para un sistema de dos alambres con una longitud de 500 Km. es de 90Ω a 60 Hz, si continuamos aumentando la frecuencia a 500Hz la resistencia es de

<sup>17</sup> Vela Neri Rodolfo. Líneas de Transmisión, 1999 pag. 42-43

123.8Ω, a una frecuencia de 1MHz, la resistencia es de 17.54KΩ. Como hemos observado este ejemplo muestra claramente que se espera niveles de atenuación mucho más grandes para señales de alta frecuencia que para las de baja frecuencia.

Cabe mencionar que la resistencia de los conductores metálicos aumenta linealmente con el aumento de temperatura.

### **Conductancia**

Las pérdidas de fuga o pérdidas por conductancia dependen, de la calidad y diseño de los aisladores y se producen por pequeñas corrientes que circulan entre conductores o entre conductores y tierra. Aunque generalmente no se considera la conductancia entre conductores de las líneas aéreas, porque la fuga en los aisladores llega a ser despreciable.

Las pérdidas de fuga varían en gran cantidad con las fluctuaciones atmosféricas y con las propiedades conductoras de la contaminación que se deposita en los aisladores.

En las líneas de alto voltaje existe el llamado efecto corona, que son pérdidas originadas por la ionización del aire que rodea al conductor que producen descargas debido al alto campo eléctrico. Estas descargas se producen cuando el campo eléctrico excede aproximadamente los 15KV/cm. Las descargas corona no solo causan pérdidas de energía sino que son fuentes de interferencia a altas frecuencias perjudicando las recepciones de radio en banda media y larga.

### **Inductancia**

Con base en la teoría y formulación conocidas para análisis de Sistemas de Potencia, y cálculos de Líneas de Transmisión, la inductancia total de la línea monofásica por unidad de longitud, conocida como Inductancia por milla de malla, se puede calcular como<sup>18</sup>:

$$L = 4 \times 10^{-7} \ln \left( \frac{D}{r \bullet e^{-1/4}} \right) \quad (2.3)$$

<sup>18</sup> Análisis Técnico de una red de Distribución de Potencia Eléctrica para la Transmisión de señales que llevan información de servicio de valor agregado Internet, Henry Bastidas, 2005 pag. 36

## Capacitancia

La capacitancia de una línea de transmisión es el resultado de la diferencia de potencial entre los conductores, produciendo que ellos se carguen de la misma forma que las placas de un capacitor cuando hay una diferencia de potencial entre ellas. El análisis se basa en la Ley de Gauss para campos eléctricos, la cual establece que la carga eléctrica total dentro de una superficie cerrada es igual a la integral sobre la superficie de la componente normal de la densidad de flujo eléctrico. Las líneas de flujo eléctrico se originan en las cargas positivas y terminan en las negativas. Así la capacitancia para una línea de transmisión, en función del área por unidad de longitud se calcula con:

$$C = \frac{2\pi k}{\ln\left(\frac{D}{r}\right)} \quad [\text{F/m}] \quad (2.4)$$

Donde:

r = Radio Externo del conductor

D = Distancia de separación entre los centros de los conductores

k = Permitividad del material que rodea el conductor  $k = 8.85 \times 10^{-12}$  en el espacio libre

### 2.3.1.2 Parámetros Secundarios

Son las características de la transmisión, también llamadas constantes secundarias, se determinan con las cuatro constantes primarias. Las constantes secundarias son impedancia característica y constante de propagación<sup>19</sup>.

#### Impedancia Característica.

“Para una máxima transferencia de potencia, desde la fuente a la carga (sin energía reflejada), una línea de transmisión debe terminarse en una carga puramente resistiva igual a la impedancia característica de la línea.

<sup>19</sup> Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Wayne Tomasi, segunda edición, 1996 pag. 326-329

$$Z_o = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (2.5)$$

Para frecuencias extremadamente bajas, dominan las resistencias y la ecuación se

simplifica

$$Z_o = \sqrt{\frac{R}{G}} \quad (2.6)$$

Para frecuencias extremadamente altas la inductancia y la capacitancia dominan lo cual se simplifica en:

$$Z_o = \sqrt{\frac{j\omega L}{j\omega C}} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2.7)$$

Se puede ver que el ángulo de fase es  $0^\circ$  por lo tanto  $Z_o$  se ve totalmente resistiva y toda la energía incidente se absorbe en la línea. Esta impedancia también puede determinarse usando la Ley de Ohm, cuando una fuente se conecta a una línea infinitamente larga y se aplica un voltaje, fluye corriente. Aunque la carga está abierta el circuito esta completo a través de las constantes distribuidas de la línea.”

$$Z_o = V/I \quad (2.8)$$

### Constante de Propagación

“Llamada también coeficiente de propagación se utiliza para expresar la atenuación (Pérdida de señal) y el desplazamiento de fase por unidad de longitud de una línea de transmisión.

$$\gamma = \alpha + j\beta \quad (2.9)$$

Donde:

$\gamma$  = Constante de Propagación

$\alpha$  = Coeficiente de atenuación (nepers por unidad de longitud)

$\beta$  = Coeficiente de Desplazamiento (radianes por unidad de longitud)

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \quad (2.10)$$

Ya que un desplazamiento de fase de  $2\pi$  rad ocurre sobre una distancia de longitud de onda

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.11)$$

A frecuencias altas como de radio o intermedias,  $\omega L > R$  y  $\omega C > G$  por lo tanto.

$$\alpha = \frac{R}{2Z_0} + \frac{GZ_0}{2}$$

$$\beta = \omega\sqrt{LC} \quad (2.12) \quad (2.13)$$

Las desventajas que posee el alto voltaje es que siendo una línea de transmisión de cables abiertos separados por aire, y ya que no poseen una cubierta, las pérdidas por radiación son altas y muy susceptibles a recoger ruido.”

### 2.3.2 Medio Voltaje

Medio voltaje varia entre 1 y 36 KV, por ejemplo para zonas rurales se emplea líneas de 34.5 Kv con conductores desnudos ACSR muy parecidos a los usados en alto voltaje. Generalmente las longitudes de las líneas varían entre 5 y 50 Km por lo que la atenuación posiblemente resulte semejante a la calculada por una línea de alta tensión. En zonas urbanas las líneas de medio voltaje pueden ser de 34.5, 13.2, 11.4 KV.

Ya que siguen siendo líneas de transmisión paralelas, se puede mantener el mismo modelo anterior y realizar el análisis: por lo tanto el cálculo de los parámetros primarios y secundarios seguirán el mismo procedimiento y formulación que las líneas alto voltaje.

Cabe mencionar que aunque se modela y se analiza igual que líneas de alto voltaje, la diferencia radica básicamente en que en las líneas de medio voltaje, la separación de los conductores en los apoyos va a resultar en la mayoría de los casos menos que para una línea de alta tensión, además existe una reducción en la gama de calibres del conductor a emplear.



### 2.3.3 Bajo Voltaje

Bajo voltaje varía entre 110 y 440 V, y normalmente comienzan en el transformador y luego se despliegan hasta encontrar la acometida del usuario, para su análisis se puede mantener el mismo modelo de los casos anteriores.

La impedancia de una línea de suministro eléctrico en bajo voltaje está determinada por la corriente de carga. La impedancia no es constante porque esta variando durante el día según se conecten o desconecten los equipos eléctricos, esto produce a se vez una ligera variación de voltaje, la cual nos conduce a la necesidad de usar filtros para dicha variación, dificultad que no presentan los canales típicos de telecomunicaciones.

Tabla 2.1 Valores típicos para líneas de medio y bajo voltaje<sup>20</sup>

Tipo de Línea	L (mH/Km)	C (μF/Km)	Vel (km/s)	Z (Ω)
Líneas Aéreas	0.9 - 1.57	7 - $13 \times 10^{-3}$	$2.92 \times 10^5$ - $2.95 \times 10^5$	347 - 358
Mayores a 1Kv	0.25 – 0.31	0.34 – 0.8	$0.6 \times 10^5$ – $1.06 \times 10^5$	19.6 - 27

Debemos mencionar que no todas las redes de distribución de energía eléctrica son exclusivamente aéreas, algunas veces las líneas aéreas no comienzan en una subestación transformadora, pueden tener su inicio en un cable subterráneo con una longitud que puede ser de varios cientos de metros, en otros casos la transición puede ser de subterráneo a línea aérea. En estas transiciones van a existir fuertes reflexiones para altas frecuencias, no así para frecuencias de 60Hz.

### 2.4 Red de Abonado

Antes del proceso de diseño en un sistema un de transmisión de información por cualquier medio, particularmente las líneas de potencia eléctrica, es necesario y fundamental conocer las diferentes características del mismo, es decir del cableado y las características que este pueda presentar.

<sup>20</sup> Fuente: Vienes, RM, Impedance of the Residential Power Distribution Circuit. IEE, 1985, pag. 6-13

Ya que las líneas transmisión eléctrica en especial las de edificios y casas, son en esencia cable bifilar (o multifilar si es que el suministro es bifásico o trifásico)<sup>21</sup>, hay que analizar ciertos parámetros como:

No existe una unión física entre el par de línea de distribución eléctrica, ya que estas se venden e incluso se instalan por separado, lo cual trae ciertos parámetros extras con ello, es decir esto permite que la separación varíe desde el contacto físico entre aislantes hasta la distancia que permite el diámetro de los conductos en donde son instalados.

Otro parámetro es, las longitudes físicas de los conductores eléctricos, que no son iguales siempre; a diferencia de las diseñadas para transmisión de telecomunicaciones (como los cables de red Ethernet, en donde se asegura que permanezcan paralelos con blindaje y longitud igual.), también podemos mencionar la no uniformidad de los conductores que se instalan en las edificaciones, ya que se lo hace según un análisis de distribución de corriente, y por ende se encontraran cables de diferente calibre.

La no uniformidad de la estructura de distribución eléctrica de las construcciones, las normas eléctricas varían y no se tiene garantía que las instalaciones eléctricas correspondan a alguna norma; la distribución eléctrica se realiza a través de tuberías de PVC o canaletas si es luego de la construcción, la instalación a tierra puede o no puede estar presente.

También debemos tener en cuenta las cargas conectadas al sistema de distribución, las mismas que varían desde no existir alguna carga, hasta cargas grandes como motores. Podemos mencionar dentro de este punto que en si el sistema de distribución eléctrico es un medio muy ruidoso, y más aún con las cargas es decir los electrodomésticos ya que estos son fuentes de ruidos con variadas características como intensidad, duración, armónicos, frecuencia, etc.

Los parámetros mencionados son los más generales aunque no son todos, y con base en estos se analizarán los efectos que causan las características de una línea de transmisión.

---

<sup>21</sup> Caracterización de una red de suministro Eléctrico de un Edificio como medio de Transmisión de Información, Ing. Marlón Patiño (2006) Universidad Nacional de Colombia.

### 2.4.1 Cableado

Los cableados de suministro típico de las instalaciones eléctricas de casa y edificios, tiene dos o tres conductores. El aislante usado en estos cables es el PVC cuando se requiere mayor grado de temperatura se utiliza caucho o polietileno como material aislante. Los materiales aislantes y conductores tienen un papel significativo para determinar las características de frecuencia de los cables de potencia.

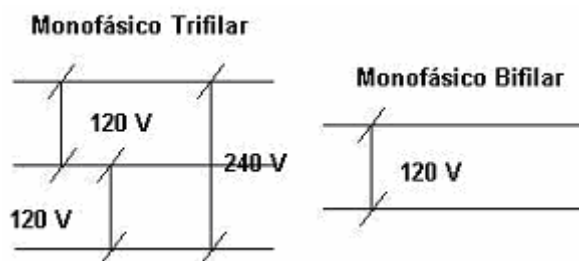


Figura 2.6 Redes de Distribución, voltajes de Suministro

Debido a los conductores no ideales y los materiales aislantes parte de la potencia que se transmite al cable no llega al receptor. Las mayores pérdidas en sistemas PLT de bajo voltaje se deben a pérdidas en el dieléctrico, pérdidas resistivas y pérdidas por acoples.

Es claro que las dimensiones de los cables eléctricos ya vienen definidas con valores concretos, y los usados en las edificaciones son generalmente con base en su uso y a la cantidad de corriente que van a soportar, así tenemos:

Tabla 2.2 Tipos y Tamaños de los cables más utilizados en Las construcciones

AWG	Área Nominal [mm <sup>2</sup> ]	R <sub>NCC</sub> 20°C [Ω/Km]	Amp. (A)
8	8.37	2.06	40
10	5.26	3.28	30
12	3.31	5.21	20
14	2.08	8.29	15

## **2.5 Propiedades y Características de las Líneas Eléctricas.**

Hay que analizar las diferentes propiedades y características que poseen las líneas de potencia eléctrica, ya que estas pueden estar presentes en cualquier punto de la red y su duración y efectos pueden ser variados

### **2.5.1 Comportamiento**

El medio de transmisión eléctrico, es decir las líneas de distribución de energía eléctrica no presenta características y propiedades constantes, estas dependen de la cantidad y equipo conectado a ella. Así que estas características, ruido, impedancia del canal y atenuación varían no solo de lugar en lugar sino también del tiempo, y periodo del día.<sup>22</sup>

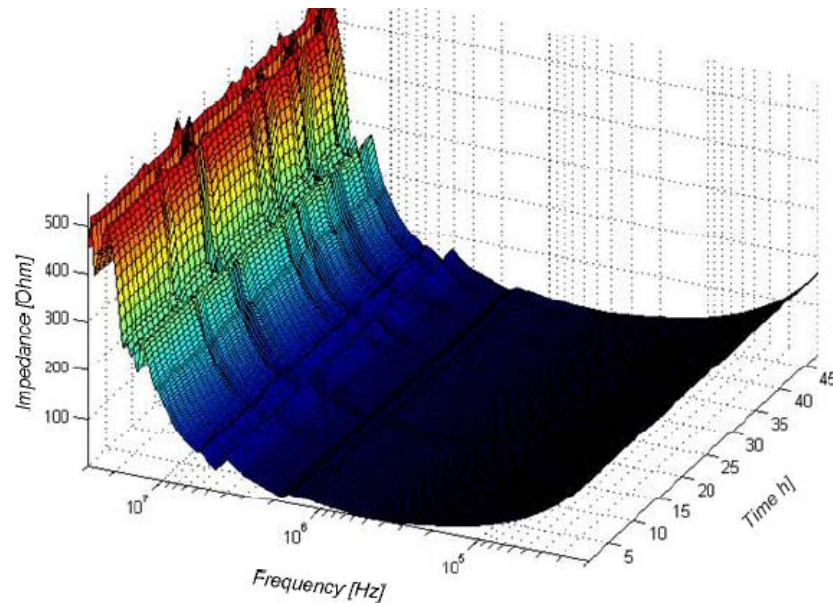
### **2.5.2 Impedancia**

La impedancia característica de una línea de transmisión es un parámetro que representa la impedancia en cualquier punto de la línea cuando ésta se considera lo suficientemente larga y sus características de inductancia y capacitancia constituyen parámetros distribuidos a lo largo de la línea. Pero dado que una línea de distribución eléctrica esta constituida por tramos de diferentes diámetros, separación entre conductores y otros parámetros que definen el valor de la impedancia de cada sección de la línea no se puede hablar de una impedancia característica para una línea de distribución eléctrica.

Sabemos que las dimensiones de los cables eléctricos (tabla 2.2), se encuentran en un rango de valores concretos, nos llevaría a ver un rango de impedancia característica para las diferentes secciones de una red de distribución eléctrica. Como no se conoce las características puntuales no se puede definir una impedancia característica, pero con el rango de variaciones se puede definir unos valores máximos y mínimos de esta impedancia, la cual la denominamos rango de impedancia de la línea de potencia eléctrica.

---

<sup>22</sup> A communication System for Power Lines, Luis Simoes, José A. B. Gerald, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal (2003).



**Figura 2.7 Impedancia a lo largo de 48 horas**

Como se observa en la figura, se encuentra una variación de la impedancia y de ahí se puede definir un rango, estos valores fueron tomados en un área residencial, comenzando las pruebas a las 9am, durante 48 horas.

### 2.5.3 Atenuación y Pérdidas

Para la tecnología PLT, la atenuación de las líneas eléctricas son de gran interés, ya que esta relacionada directamente con las pérdidas de señal, debido a que siguiendo la ley de conservación de la energía, toda señal que entre al medio de transmisión PLT, no desaparecerá sino que se transformará en otro tipo de energía, lo que conlleva a que la señal se atenué y se pierda, la pérdida será igual a la suma de todas las pérdidas o atenuaciones que hayan ocurrido a lo largo del trayecto.

Las pérdidas en las líneas de transmisión se pueden clasificar como:

- Pérdidas en Conductores
- Pérdidas por Radiación
- Pérdidas por Calentamiento del Dieléctrico
- Pérdidas por Acoplamiento

Las pérdidas en el conductor se dan debido a dos situaciones. La primera tiene que ver la resistencia óhmica del conductor y resulta en una conversión de la señal a calentamiento del conductor, que cumple la ley de ohm.<sup>23</sup>

$$W = \frac{I^2}{\Omega} \quad (2.14)$$

La segunda esta relacionada con un fenómeno conocido como “Efecto piel”, que hace que a mayor frecuencia la corriente fluye más fácil por la superficie exterior del conductor, por la auto inductancia que genera al centro del conductor. Esto genera alto valor resistivo, ya que toda señal de alta frecuencia circulará únicamente por la superficie elevando las pérdidas, así la resistencia es proporcional a la raíz cuadrada de la frecuencia.<sup>24</sup>

$$\Omega \rightarrow \sqrt{f(\text{Hz})} \quad (2.15)$$

Esto para señales PLT nos indica que sufrirá mayores atenuaciones que la señal del suministro eléctrico.

Para evaluar la atenuación depende del proceso que se use, así se puede medir atenuación entre dos puntos diferentes de la red y evaluar la disminución de amplitud en función de la distancia como por ejemplo.

Las pérdidas por radiación son despreciadas a bajas frecuencias pues están relacionadas con la separación entre los conductores y su relación con la longitud de onda ( $\lambda$ ). Es decir a medida que aumente la frecuencia los campos electrostáticos y electromagnéticos que rodean al conductor hacen que la línea actúe como una antena y transfiera energía a materiales conductores cercanos o incluso al medio aéreo.

Las pérdidas por calentamiento del dieléctrico son causadas por una diferencia de potencial entre dos conductores de la línea de transmisión, el calor es una forma de

---

<sup>23</sup> Ley de Ohm, relaciona el Voltaje, corriente y resistencia en un circuito eléctrico,  $I=V/R$ .

<sup>24</sup> Sistemas de comunicaciones Electrónicas, W. Tomasi (2003)

energía y tiene que tomarse de la energía que se propaga a lo largo de la línea. Para líneas sólidas se incrementa las pérdidas por calentamiento del dieléctrico con la frecuencia.

Las pérdidas por acoplamiento ocurren cuando una conexión se hace de o hacia una línea de transmisión o cuando se conectan dos partes separadas de una línea de transmisión, las conexiones son discontinuas (lugares con materiales diferentes). Las discontinuidades tienden a calentarse, radiar energía y disipar potencia.

### 2.5.4 Ruido y Efectos

El ruido es el principal factor generador de errores en transmisión de información por PLT o cualquier otro modo. En lo que tiene que ver con el ruido se deben tener en cuenta sus características. Para este análisis se consideran dos clasificaciones, la establecida por R.M. Vines y H.J. Trussel<sup>25</sup> en 1995 que se enfoca hacia los ruidos Indoor es decir aquellos que se presentan en el tramo interno de las redes de baja tensión y la establecida por M. Zimmermann y K. Dostert<sup>26</sup> en el año 2000 que se orienta hacia los ruidos Outdoor o exteriores.

Los ruidos outdoor son aquellos que se presentan en las redes eléctricas de baja tensión al exterior de los domicilios, las líneas de potencia eléctrica al contrario que otros canales de comunicaciones no contienen Ruido Blanco Gaussiano Aditivo (AWGN) cuya densidad espectral de potencia es constante a lo largo de todo el espectro utilizado para la transmisión. En la caracterización hecha por Zimmermann y Dostert el ruido se representa como la superposición de cinco tipos de ruido que se diferencian por su origen, su duración en el tiempo, el ancho espectral que alcanzan y su intensidad.

**Ruido Tipo 1** (*Ruido de Fondo Coloreado*). Este ruido se caracteriza porque la densidad espectral de frecuencia (*PSD*) disminuye en la medida en que aumenta la

---

<sup>25</sup> R.M Vines, H.J Trussel, L.J Gale and J.B O'Neal, "Noise on residential power distribution circuits," IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. EMC-27, No.1, Feb 1995.

<sup>26</sup> M. Zimmermann, K. Dostert, "An Analysis of the Broadband Noise Scenario in Powerline Networks" Simposio Internacional PLC, Irlanda, Abril 5 – 7, 2000

frecuencia, es causado por superposiciones de numerosas fuentes de ruido de baja intensidad, contrario al ruido blanco que se conforma por ruido aleatorio con una densidad espectral uniforme y continuo. Este ruido es causado por electrodomésticos comunes, como computadores, interruptores secadores de cabello que pueden causar alteraciones en el rango de frecuencias por encima de 30Mhz.

**Ruido Tipo 2** (*Ruido de banda angosta*). Se comporta como una señal senoidal modulada en amplitud, ocupa muchas subbandas de frecuencias relativamente angostas y continuas sobre el espectro de frecuencia, es causado principalmente por estaciones de difusión o por las interferencias de servicios de radio y su modulación sinusoidal en el rango de frecuencias entre 1 y 22Mhz.

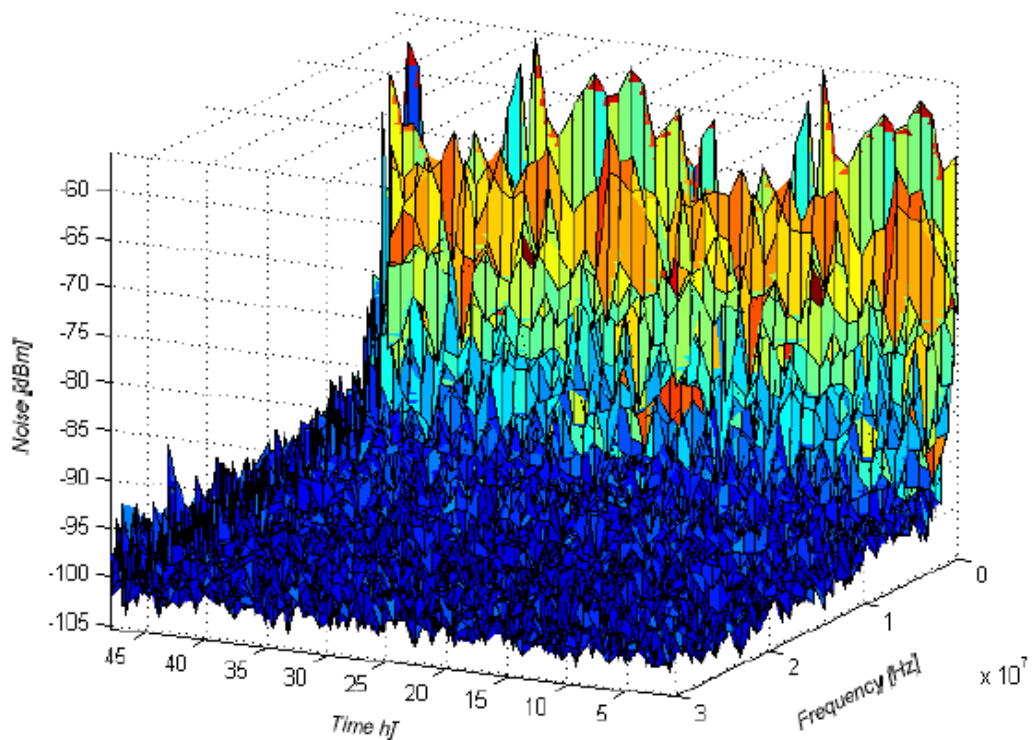
**Ruido Tipo 3** (*Ruido periódico impulsivo no sincronizado con la frecuencia portadora*). Tiene forma de impulsos con una tasa de repetición entre 50 y 200 KHz y se manifiesta como un espectro de líneas discretas con una frecuencia de espaciamiento acorde con la tasa de repetición, es causado por encendido y apagado (switches) de cargas en las líneas de potencia. Este ruido es ocasionado también principalmente por la ocurrencia espontánea de fenómenos como relámpagos y descargas eléctricas.

**Ruido Tipo 4** (*Ruido periódico impulsivo sincronizado con la frecuencia portadora*). Tiene forma de impulsos con una tasa de repetición de 50 a 100 Hz y está sincronizado con la frecuencia principal de las líneas de potencia (60 Hz), estos impulsos tienen una duración corta del orden de los microsegundos y una densidad espectral de potencia que decrece con la frecuencia. La fuente usual de este ruido son los triacs o rectificadores controlados de silicio (SCR) encontrados en algunos aparatos utilizados en el hogar y en las pequeñas empresas, por ejemplo: en fotocopiadoras.

**Ruido Tipo 5** (*Ruido impulsivo asincrónico*). Causado por switcheos en la red tienen una duración del orden de los microsegundos, puede tener valores muy altos de pérdidas cercanos a los 50 dB, las principales fuentes de este ruido incluyen a los televisores y monitores de computador, otra causa son los motores, es el resultado del proceso de conmutación en los motores presentes en aparatos como brilladoras y



aspiradoras, una característica de muchos de estos aparatos es que son utilizados por un periodo de tiempo corto



**Figura 2.8 Ruido a lo largo de 48 horas**

Usando los valores tomados anteriormente en un área residencial, comenzando las pruebas a las 9am, durante 48 horas, observamos los tipos de ruido:

- Ruido de fondo coloreado (Producido por electrodomésticos comunes).
- Ruido de Banda Angosta (Causado por transmisiones de radio en AM y la frecuencia de sincronismo horizontal de las TV's).
- Ruido Impulsivo (Producido por encendido y apagado de switches, motores eléctricos,).

### 2.5.5 Distorsión en la Señal Transmitida

Este aspecto es otra fuente de errores en la transmisión de telecomunicaciones, consiste en la alteración de la señal transmitida debido a los factores naturales del medio que se usa. Hay varios tipos de distorsiones como:

- Distorsión por Atenuación.- Se presenta cuando en la transmisión las frecuencias altas pierden potencia con mayor rapidez que las bajas, esta atenuación depende del método y del medio de transmisión, aumenta directamente con la frecuencia e inversamente con el diámetro del alambre. Una solución a este problema son el uso de repetidores para reforzar la señal.
- Distorsión por retraso.- Se presenta cuando una señal se retrasa más a ciertas frecuencias que a otras, ya que los datos se pueden transmitir diferentes frecuencias y por ende unos pueden viajar más rápido que otros, una solución es el uso de un ecualizador que compense la atenuación como la distorsión.

Puede haber otros factores que presenten problemas en las transmisiones, como el gorjeo, producido por imperfecciones en la señal portadora, ya sean por variaciones de amplitud, fase o frecuencia. Líneas cruzadas que ocurren cuando una línea toma parte de la señal que va por otra línea, este fenómeno se puede presentar en sistemas multiseñales a través de los ductos de instalaciones PLT por ejemplo, en especial en edificios de departamentos pero, se puede eliminar con adecuado sistema de codificación. Y por último el ECO que son repeticiones de un mismo mensaje que regresan al transmisor y si poseen la intensidad suficiente como para ser detectadas por el equipo puede provocar errores.

## CAPITULO III

### TECNOLOGÍA PLT/PLC

#### 3.1 Estado del Arte

##### 3.1.1 Topología Típica

En la siguiente figura se muestra la topología típica PLT. Como se conecta a la red de datos (típica fibra óptica) a los anillos de Medio Voltaje (MV), los anillos de MV están conectados a través de PLT gateways a la red de distribución de Bajo Voltaje, donde se encuentran los módems de usuario.

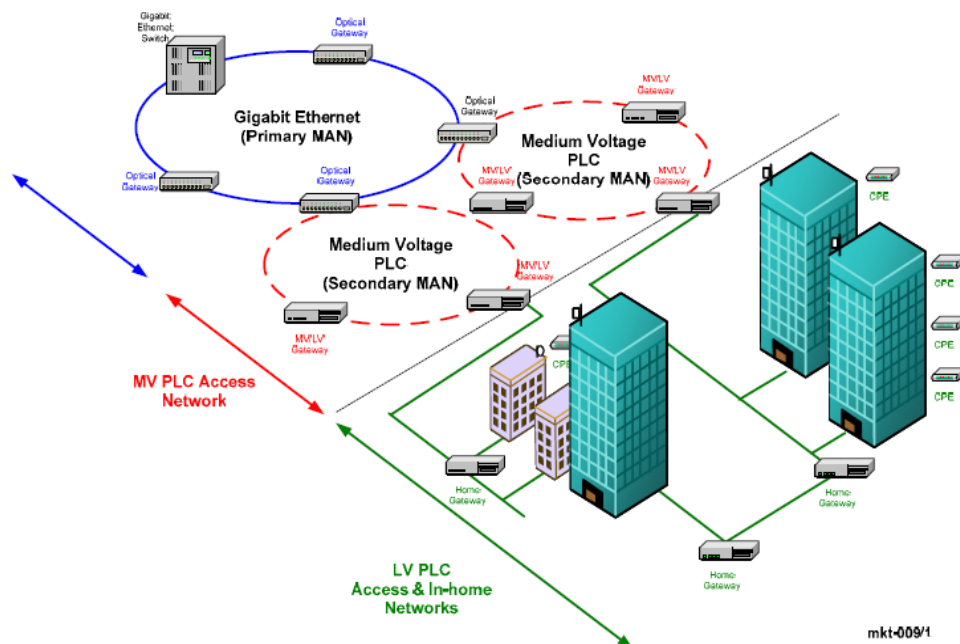


Figura 3.1 Topología típica

### **3.1.2 Especificaciones de los Equipos**

Dentro de este punto describiremos y mencionaremos los equipos usados para implementar una red de tipo PLC/PLT., tanto en media como baja tensión.

#### **3.1.2.1 NTU (Network Termination Unit)**

Es el dispositivo final y el que provee la interfaz hacia el computador del usuario u otras terminales, (impresoras, servidores, router, switches,etc), vía interfaz Ethernet o USB, esta diseñado para una rápida y fácil instalación en el hogar del usuario, servicios de banda ancha (TCP/IP), servicios de voz (H323 o SIP), y puede poseer un conector RJ-11 para conectar un teléfono análogo. En otras palabras es el dispositivo que es conectado al tomacorriente en el lado del usuario. Refiriéndonos a una definición más normal el NTU es el equipo CPE (Customer Premises Equipment).

#### **3.1.2.2 RP (Repeater)**

El repetidor es el que establece la conexión entre el LVHE (low voltaje head end) y el NTU en la red de distribución de bajo voltaje. Usualmente se lo instala en gabinetes en las calles, en postes, sótanos, cuartos de contadores, etc. Además debe ser compacto y robusto, es decir debe soportar más polvo, suciedad y humedad que el NTU por ejemplo, y si es instalado al aire libre incluso el sol, lluvia y variaciones de temperatura.

#### **3.1.2.3 LVHE (Low Voltage Head End)**

El LVHE es el paso entre la red de acceso y la red de distribución. Estos pueden ser instalados en cada nodo de la red de bajo voltaje por ejemplo: subestaciones, gabinetes en la calle, o cajas de servicio, pero usualmente se instalan en la subestación transformadora. El LVHE esta siempre operado por una persona encargada de la malla de bajo voltaje, y se encarga de vigilar y mantener los parámetros de seguridad en la red.

### 3.1.2.4 Nodo MV

El nodo de medio voltaje es instalado en las estaciones transformadoras ya sea de AV/MV o MV/BV, es un dispositivo que establece la comunicación sobre las líneas de medio voltaje y su función es la de conectar la red de datos (Fibra Óptica, vía radio, wireless) con la red PLC/PLT.

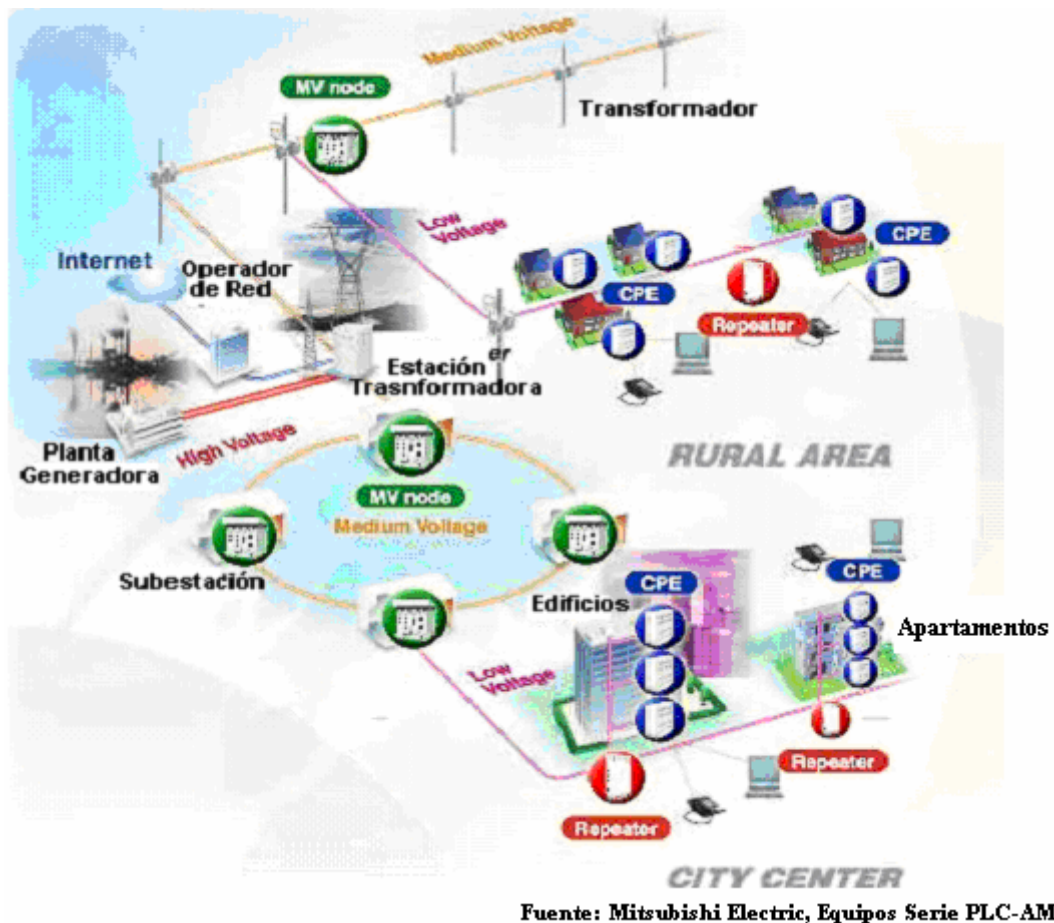


Figura 3.2 Ejemplo de uso de lo equipos

### 3.1.3 Arquitecturas PLT

Para poder continuar con una explicación más adecuada de la tecnología PLT, es necesario mencionar el concepto de Control de Acceso al Medio (MAC) y el uso de División de Tiempo y Frecuencia.

## MAC's

El objetivo de la MAC<sup>27</sup> es distribuir el acceso entre los diferentes usuarios, debe ser capaz de trabajar con diferentes arquitecturas y debe permitir: una aproximación maestro-esclavo, donde hay conexión de datos entre HE y el CPE. Esto es generalmente a nivel de red LV, así como un controlador central, permitiendo una comunicación entre los dispositivos de la red. Normalmente usados en anillos MV.

### Uso de División de Frecuencia o División de Tiempo

La MAC tiene que poder soportar diferentes modos tanto división de Frecuencias como División de Tiempo.

En caso de interferencia entre MV y BV, cada una de las redes PLT puede usar diferente rango de frecuencia también esto es utilizado en las aplicaciones in-home (bajo voltaje). En general se usa División de Frecuencia, también en repetidores para hacer un reuso de frecuencias en especial en edificios. Ahora con la tecnología desarrollada por OPERA se permite usar División de Tiempo entre MV y BV, y entre nodos de la misma red.

El uso de repetidores por División de Tiempo (TD) o División de Frecuencia (FD) depende del número de nodos que constituyen la red. Cuando el número de nodos es pequeño es mejor usar repetidores TD porque esto reduce el costo y son fáciles de instalar, pero cuando el número de nodos aumenta, la latencia aumenta y el throughput decrece así que se justifica la instalación de repetidores FD.

#### 3.1.3.1 Arquitectura de Medio Voltaje

En las figura 3.3 se muestra las arquitecturas más normales donde se conectan a un anillo de fibra, aunque los datos pueden llegar por otra vía, ya sea radio, satélite, etc. El uso de DT o DF dependen de la latencia requerida y las características de instalación.

---

<sup>27</sup> MAC: Control de Acceso al Medio

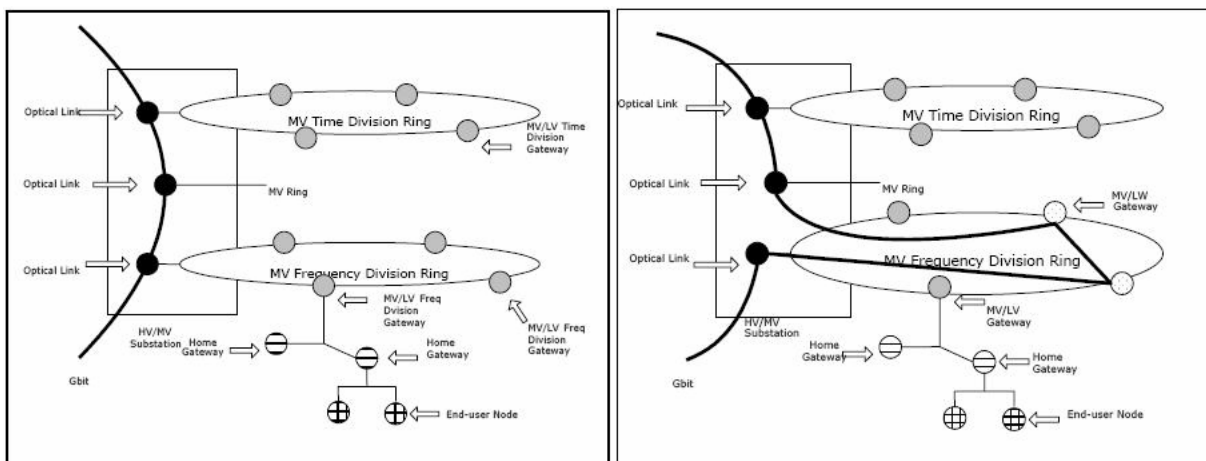


Fig A

Fig B

Fuente: OPERA-D 44 Report presenting the architecture of PLC system

Figura 3.3 Ejemplo de Arquitecturas MV

La coexistencia entre redes PLT de MV y BV es normal y depende de la atenuación, si esta se da se utiliza División de Frecuencia para separar las redes una de la otra.

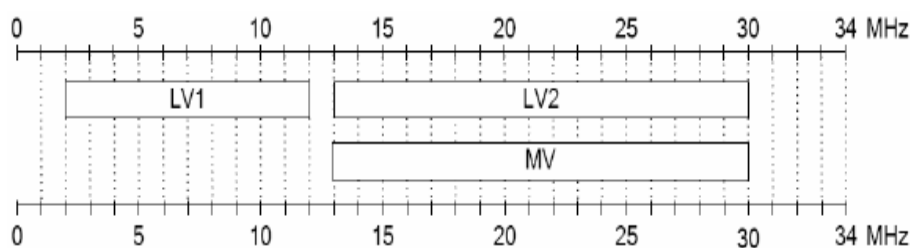


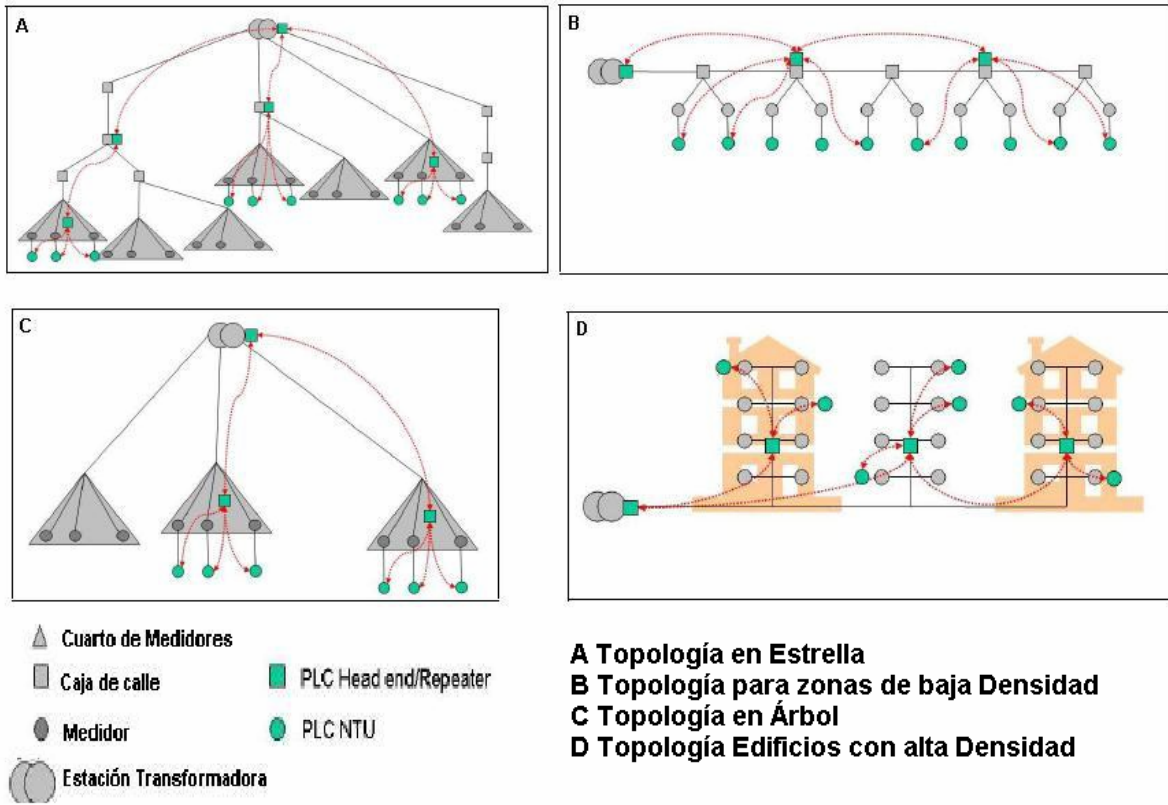
Figura 3.4 Ejemplo de Coexistencia MV/BV

La posibilidad lógica, útil para la coexistencia de un mecanismo acceso /in home, es usar altas frecuencias para in-home (LV2) y las secciones MV y las bajas frecuencias para la primera sección de la red BV (LV1).

### 3.1.3.2 Arquitectura de Bajo Voltaje

La red BV es la parte final de conexión hacia el usuario, hay varios factores que influyen la arquitectura PLT de baja tensión, como son: Localización de la red, densidad de usuarios, longitud y diseño de la red.

Además las topologías que se pueden encontrar varían si son aéreas con densidad urbana baja o alta, hay topologías en estrella, árbol, y para edificios con alta densidad.



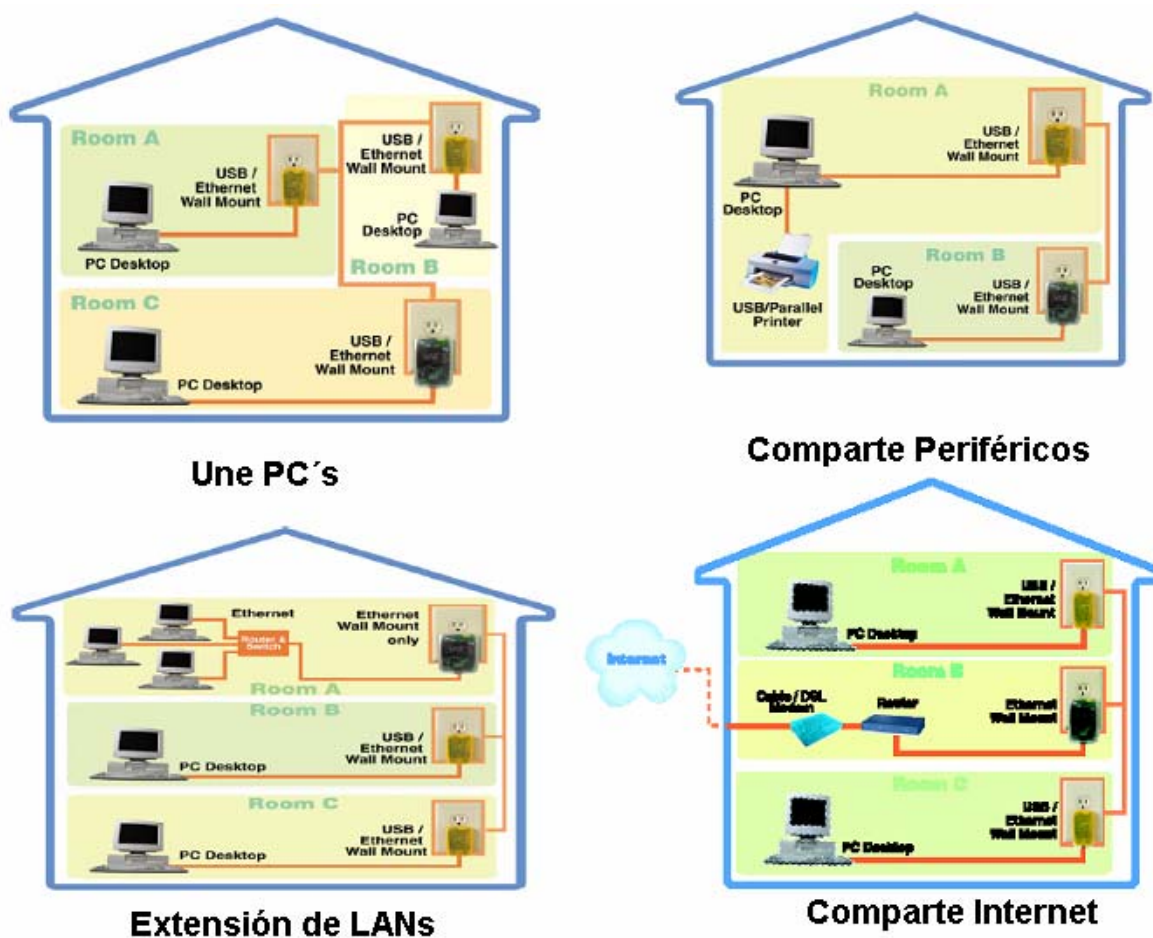
Fuente: D 44 Report presenting the architecture of PLC system

Figura 3.5 Ejemplo de Arquitecturas BV

### 3.1.3.2 Arquitectura In-Home

Una red In-home usa el cableado existente en su hogar para realizar la transmisión de datos a través de ella. Lo único que se necesita es conectar sus dispositivos a un módem PLT y la conexión se realiza, aún así hay que realizar una caracterización de la red eléctrica del lugar con el fin de poder garantizar el correcto funcionamiento de los dispositivos y que la transmisión de datos siempre sea la más óptima, a continuación se presentan ejemplos de las aplicaciones de esta arquitectura en la figura 3.6:





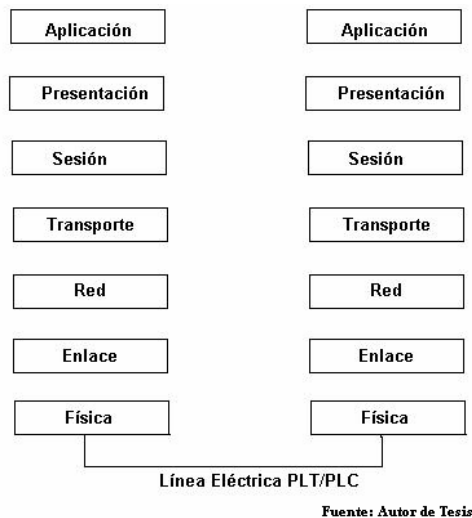
Fuente: Seminario Nuevas Tecnologías de Banda Ancha

Figura 3.6 Ejemplos In-Home

No existe un estándar PLC, por lo que las tecnologías PLC disponibles son todas propietarias. El estado del arte ofrece chipsets capaces de proporcionar 200 Mbps en 30 MHz. Sin embargo hay muchos esfuerzos por estandarizarla, hasta el momento existen varias especificaciones las cuales son seguidas por los principales fabricantes de chipsets, de las cuales hablaremos más adelante. Para las aplicaciones in-home se tiene la Homeplug con la cual se va analizar mejor a arquitectura PLC/PLT.

### 3.1.4 Arquitectura OSI

Como se había mencionado antes una forma de explicar de mejor manera la arquitectura PCL/PLT se lo hace vía el modelo OSI.



**Figura 3.7 Arquitectura OSI**

El modelo OSI es muy práctico para explicar el funcionamiento PLC/PLT, sin embargo en nuestro caso y para nuestro estudio nos dirigiremos hacia la especificación Homeplug, ya que esta se usa para aplicaciones in-home y de referencia para las de BV y MB, así analizaremos con más detalle la Capa Física y de Enlace, se podría pensar que es necesario un análisis de la capa de red pero no lo consideramos ya que casi no existe enrutamiento y direccionamiento, de existir sería muy básico debido a que es una estructura de carácter jerárquico.

### **3.1.4.1 Capa Física**

La capa física comunica directamente con el medio de comunicación en este caso las redes de distribución de energía eléctrica, su responsabilidad es enviar y recibir los datos. Las especificaciones de la capa física describen el modo en que los datos se codifican en señales del medio y características de la interfaz de conexión al medio.

#### **3.1.4.1.1 Interfaces Físicas**

Dentro de las especificaciones físicas en la tecnología PLC/PLT el equipo emisor emite señales de baja potencia (50mW) dentro del rango de frecuencias especificado.

Cada una de las interfaces debe poseer los siguientes requerimientos:

- **NTU (CPE):** El NTU debe poseer un conector para una toma AC, soportar un voltaje nominal de 100-240V, frecuencia de 50-60Hz, debe ser lo más silencioso posible, la unidad acopladora debe estar integrada y tapada por una cubierta sin agujeros, además debe consumir energía igual al de un módem ADSL.
- **Repetidor:** Al igual que el NTU el RP debe poseer un conector para toma AC, manejar voltajes de 100-240 VAC entre fase y neutro y 400 VAC entre fase y fase, frecuencias de 50-60hz, protección contra sobre voltaje categoría IV (6kV), en lo referente al acoplador de señal puede estar incorporado por facilidad en el mismo empaque o puede tener uno externo, el empaque no debe poseer ranuras de disipación para proteger del polvo y debe consumir alrededor de 5W.
- **Cabecera de Bajo Voltaje:** El LVHE debe poseer un conector de AC, manejar voltajes de 100-240 VAC entre fase y neutro y 400 VAC entre fase y fase, frecuencias de 50-60hz, protección contra sobre voltaje categoría IV (6kV), en lo referente al acoplador de señal puede estar incorporado por facilidad en el mismo empaque o puede tener uno externo, debido a posibles interferencias la interfaz de alimentación de poder debe filtrar frecuencias HF, el empaque no debe poseer ranuras de disipación para proteger del polvo y debe consumir alrededor de 10W y está diseñado para ser operado en cuartos no dedicados para servicios eléctricos como escuelas, hoteles, etc.
- **Nodo MB:** Debido a requerimientos especiales de seguridad el nodo MV no esta directamente conectado a la línea de potencia eléctrica, sino usando un dispositivo acoplador inductivo o capacitivo. El lugar donde se lo instala es la estación transformadora, la conexión a la unidad acopladora se lo hace con un cable BNC.
- **Interfaces:** Poseen interfaces Ethernet (RJ-45) y USB (con conectores A y B a los extremos) y forman parte del equipo transceptor.
- **Acople:** El circuito de acople debe proveer el aislamiento galvánico necesario al sistema PLC/PLT separándolo de la línea eléctrica.

Existen algunas otras características dentro de las interfaces físicas dependiendo del tipo de equipo. Así mismo los esquemas de modulación a utilizarse serán explicados más adelante.

### 3.1.4.2 Capa Enlace

La capa de enlace de datos es responsable de proporcionar la comunicación nodo a nodo y dentro de una misma red.

La capa de Enlace se divide en 2 subcapas que tiene funciones independientes y claramente definidas, estas son las subcapas de control de acceso al medio (MAC), en la cual se especifican los protocolos de acceso al medio, y la subcapa de control lógico de enlace (LLC) en la cual se consideran los mecanismos de detección y corrección de errores así como el control de flujo de datos.

Analizando Homeplug encontramos Homeplug 1.0 (hasta 14MBps) y Homeplug AV (hasta 200 MBps), estos utilizan varias técnicas para sobrellevar los efectos del canal.

Para aumentar la robustez del sistema se utiliza protección contra errores de tipo FEC (Viterbi y Reed Solomon concatenados) para la carga útil y Turbocódigos para las tramas de señalización más sensibles.

La capa MAC de HomePlug es una variante del CSMA/CA (Acceso múltiple por detección de portadora evitando colisiones), a la cual se le han añadido algunas características que permiten la priorización según clases, la igualdad y el control de retardos. La utilización CSMA/CA implica que la capa física debe soportar la transmisión y recepción a ráfagas, es decir cada cliente activa la transmisión sólo en los momentos en los que tiene datos que enviar, y al terminar apaga el transmisor y vuelve al modo de recepción.<sup>28</sup>

Los paquetes de transporte de datos en HomePlug, están formadas por secuencias de símbolos OFDM, y consisten en un delimitador de comienzo de trama, la carga útil y un delimitador de final de trama (véase la Figura). En transmisiones unicast, la estación de

---

<sup>28</sup> Tecnologías y actividades de estandarización para la interconexión de Home Networks, Alcatel para Fundación AUNA.

destino responde mediante la transmisión de un delimitador de respuesta que indica el estado de la recepción (ACK, NACK o Fallo).

- **Preámbulo:** El preámbulo es construido de 7.5 símbolos OFDM especiales, sin prefijo cíclico y con duración de 38.3us. Este segmento de la trama es usado para sincronización, control automático de ganancia y opcionalmente referencia de fase.
- **Control de Trama (Frame Control):** Consiste de 4 símbolos OFDM en el cual todas las portadoras sin máscara son usadas en conjunto con código de corrección de errores (Turbo Product Code TCP). Los cuatro símbolos del control de tramas contienen 25 bits de información recibidos con gran exactitud. Estos bits proveen la información para la correcta operación del protocolo HomePlug. Ya que sirven para la gestión de la MAC, por ejemplo con información de longitud de los paquetes y estado de las respuestas.
- **Carga (Payload):** Consiste de un número variable de bloques con 20-40 símbolos OFDM protegidos por una codificación convulucional concatenada por Reed-Solomon, la carga esta solo concebida para la estación de destino y se transportan en un conjunto de portadoras previamente establecidas

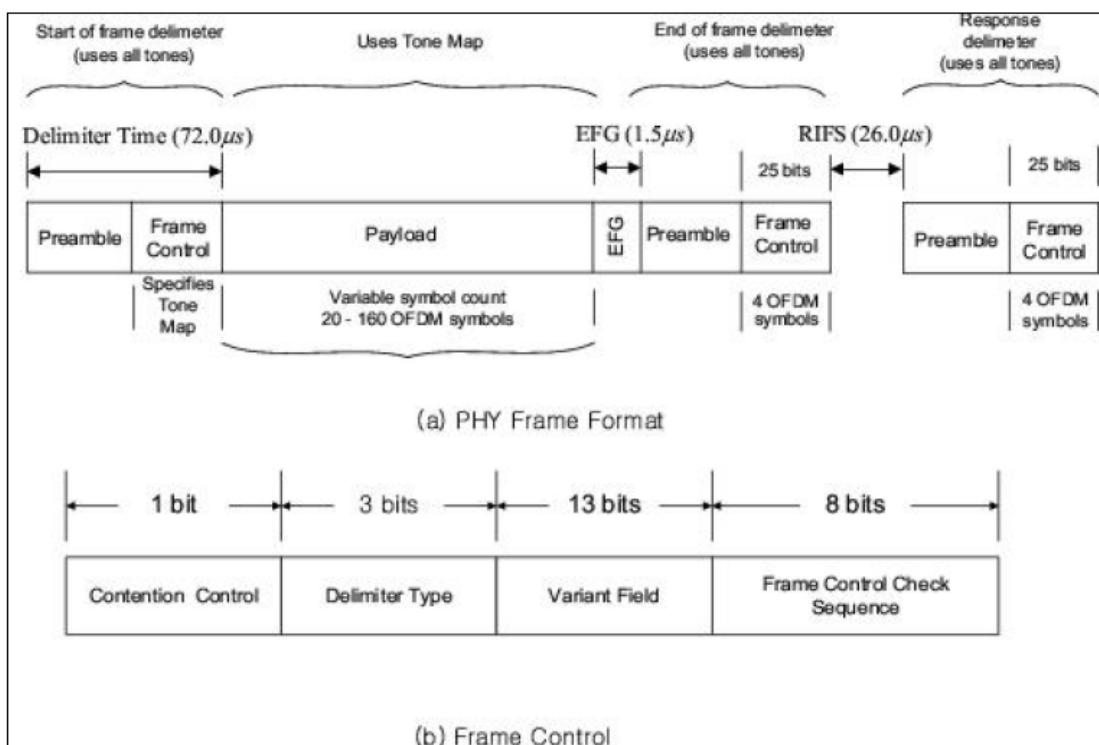


Figura 3.8 Trama Homeplug

Para HomePlug 1.0, 128 portadoras OFDM son especificadas dentro de un rango (0-25MHz), una máscara de tonos programables es usada para identificar las 84 portadoras en el rango de 4.5 a 20,7 MHz, de entre las cuales 8 son enmascaradas para evitar conflictos con los radioaficionados. Cada símbolo OFDM tarda 8.4seg de los cuales 5.12useg (256 muestras) corresponden al símbolo OFDM y 3.28useg son los prefijos cíclicos obtenidos de las 172 últimas muestras.

HomePlug AV provee una mejora, aumenta el ancho de banda debido a más portadoras AV opera con 1155 portadoras en un rango de (1.8 a 30MHz) y las activas que usa son 917.

Para una implementación fácil, costo y otras razones. HomePlug 1.0 usa modulación diferencial con esquemas DBPSK y DQPSK. Cabe recalcar que cada símbolo FDM tiene la misma modulación. En cambio HomePlug AV se modula con BPSK, QPSK, 8-16-64-256-1024 QAM, y se puede hacer una mezcla de modulaciones en cada portadora<sup>29</sup>.

### **3.1.5 Transmisión de la Señal**

#### **3.1.5.1 Secuencia de Transmisión**

“La operación de la transmisión consiste en construir el preámbulo, la sincronización de símbolo, y las tramas de datos por separado, concatenándolos, y llevándolos hacia la línea eléctrica.

Las tramas de preámbulo y sincronización son conducidas a la línea eléctrica primero. La construcción de las tramas de datos consta de varios pasos. Primero, una secuencia de verificación de paridad es calculada para el mensaje a ser transmitido.

---

<sup>29</sup> High Speed Multimedia Home Networking Over Powerline, Haniph A. Latchman, K. Afkhamie

El mensaje y los bytes de paridad se mezclan, y la secuencia mezclada resultante es codificada para agregarla redundancia, de modo que sea realizada una operación de decodificación Viterbi durante la operación de recepción. La secuencia codificada, es codificada usando DQPSK, donde cada portadora representa un símbolo.

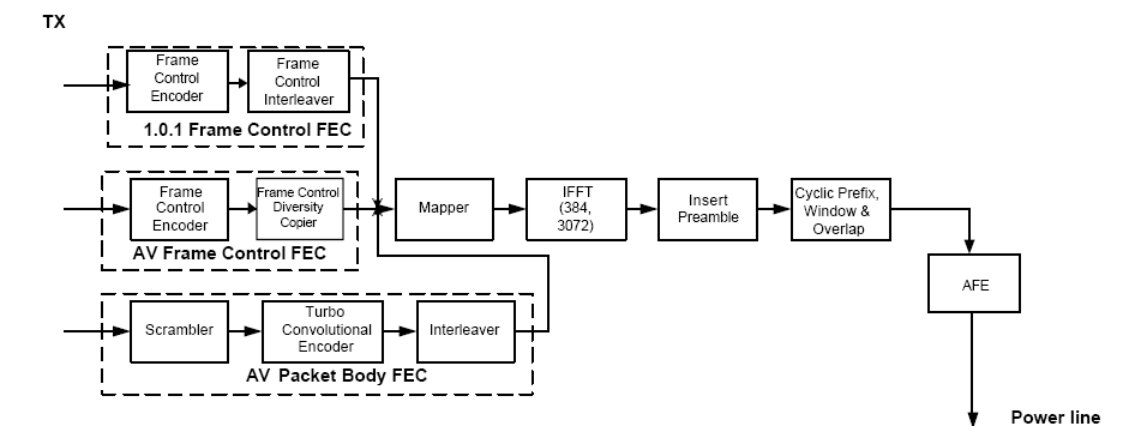


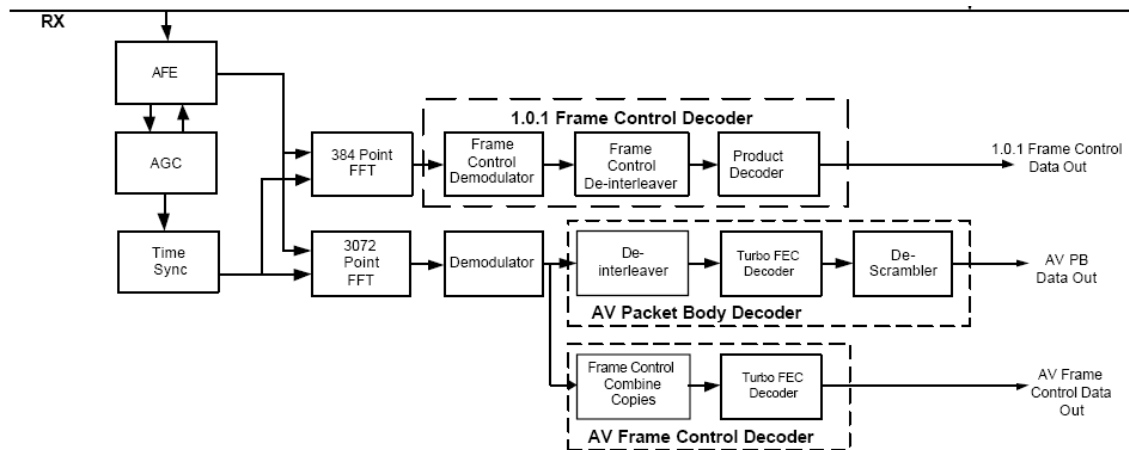
Figura 3.9 Transmisor Homeplug 1.0 y AV

A la secuencia se le aplica un IFFT (Transformada Rápida de Fourier Inversa), para formar una secuencia que se pueda transmitir en la línea eléctrica. El prefijo cíclico es el frente de cada trama y se construye repitiendo la última parte de la sección de datos de la trama, se adiciona para proporcionar protección contra los efectos del canal multi-path. Sólo entonces la secuencia es conducida hacia la línea eléctrica”.

### 3.1.5.2 Secuencia de Recepción

La señal del paquete transmitido es atenuada y distorsionada por la función de transferencia de la línea eléctrica. El primer paso para reconstruir los datos es amplificar la señal para que su amplitud este dentro del rango dinámico del ADC en el módem. Esta función es proporcionada por el algoritmo del control automático de ganancia en el receptor<sup>30</sup>.

<sup>30</sup> Estudio de Factibilidad para la Implementación de una red LAN con Tecnología “Power Line Communication”, para la Universidad Técnica de Ambato, Vladimir Jara, 2005



**Figura 3.10 Receptor Homeplug 1.0 y AV**

El módem usa un codec que incluye un amplificador de ganancia variable, el mismo que tiene un rango de ganancia de 0 a 21 dB en pasos de 3 dB. Esta ganancia es fijada a través de un registro codec. Para calcular el valor correcto de este registro, el DSP monitorea cada muestra recibida y calcula la ganancia correcta, enviando el valor de regreso al codec junto con el dato transmitido para el codec DAC.

El algoritmo AGC es una rutina de interrupción de servicio (ISR) que lee periódicamente un bloque de muestras recibidas y actualiza la ganancia a ser usada para construir el control de los datos transmitidos enviados al codec DAC.

“Al mismo tiempo el algoritmo de búsqueda de paquete empieza a buscar patrones que se parezcan al patrón del preámbulo. Dado que el preámbulo consiste en un patrón de datos conocidos y que se repiten, el algoritmo de búsqueda puede buscar este patrón de datos sin necesidad de determinar el principio de paquete. El algoritmo de recepción determina el comienzo de la trama usando el algoritmo de alineación de trama, que aprovecha que las tramas del preámbulo son un patrón repetitivo y entonces detecta el comienzo exacto de los datos con el algoritmo de detección de sincronización.

Durante el preámbulo, la respuesta del canal es caracterizada, y esta caracterización se usa en el algoritmo de ecualización de la frecuencia, que es el proceso de corrección de las tramas de datos recibidas, basados en la medida de la estimación del canal antes hecho.



Los pasos restantes se realizan en el orden opuesto al que fue realizado durante la operación de transmisión: después de que la decodificación de Viterbi determina la secuencia de datos más probable, la sucesión es desmezclada para formar el mensaje del usuario y los byte de chequeo de paridad. Si los bytes de chequeo de paridad indican el mensaje fue recibido con éxito, entonces el mensaje del usuario es declarado como bueno”

<sup>31</sup>

### 3.1.6 Esquemas de Modulación

Los esquemas de modulación PLC/PLT son esquemas de modulación Digital y entre los principales se tienen:

#### 3.1.6.1 PSK (Transmisión por Desplazamiento de Fase) y QPSK

Transmitir por desplazamiento en fase (PSK) es otra forma de modulación angular, modulación digital de amplitud constante. Conocida también como transmisión por desplazamiento de fase binaria (BPSK), son posibles dos fases de salida para una sola frecuencia de portadora. Una fase de salida representa un 1 lógico y la otra un 0 lógico (véase figura 3.7). Conforme la señal digital de entrada cambia de estado, la fase de la portadora de salida se desplaza entre dos ángulos que están 180° fuera de fase. El BPSK es una forma de modulación de onda cuadrada de portadora suprimida de una señal de onda continua.

**QPSK** es una técnica de codificación M-ario, en donde  $M = 4$  (de ahí el nombre de “cuaternaria”, que significa “4”). Con QPSK son posibles cuatro fases de salida, para una sola frecuencia de la portadora. Debido a que hay cuatro fases de salida diferentes, tiene que haber cuatro condiciones de entrada diferentes. Ya que la entrada digital a un modulador de QPSK es una señal binaria (base 2), para producir cuatro condiciones diferentes de entrada, se necesita más de un solo bit de entrada. Con 2 bits, hay cuatro posibles condiciones: 00, 01, 10 y 11. En consecuencia, con QPSK, los datos de entrada binarios se combinan en grupos de 2 bits llamados dibits. Cada código dibit genera una de las cuatro fases de entrada posibles. Por lo tanto, para cada dibit de 2 bits introducidos al

---

<sup>31</sup> Estudio de Factibilidad para la Implementación de una Red LAN con Tecnología “Power Line Communication” para la Universidad Técnica de Ambato, Vladimir Jara, 2005

modulador, ocurre un solo cambio de salida. Así que, la razón de cambio en la salida es la mitad de la razón de bit de entrada.

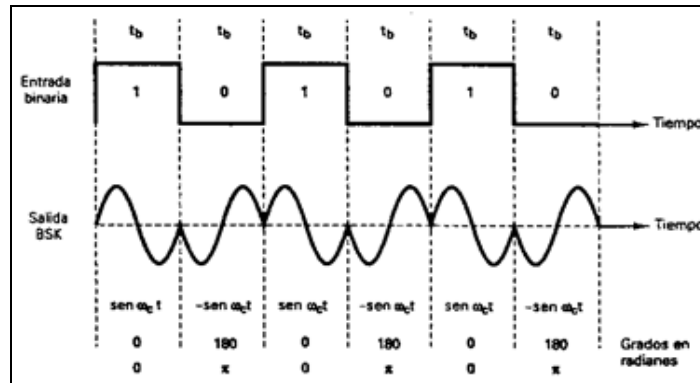


Figura 3.11 BPSK

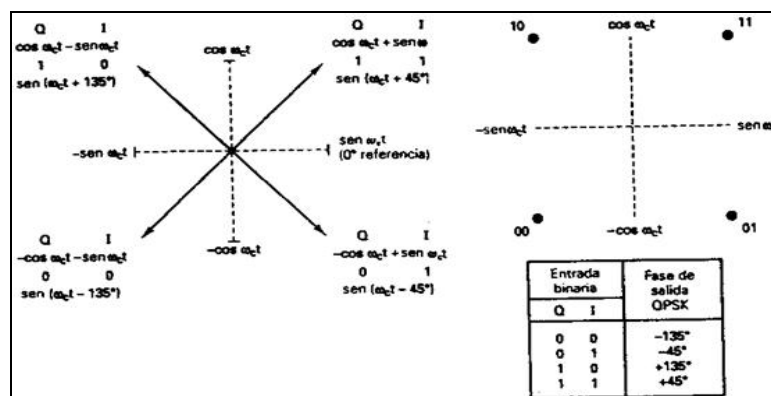


Figura 3.12 QPSK

### 3.1.6.2 QAM (Modulación de Amplitud en Cuadratura)

La modulación de amplitud en cuadratura (QAM), es una forma de modulación digital en donde la información digital está contenida, tanto en la amplitud como en la fase de la portadora transmitida.

Para aumentar la velocidad y el ancho de banda, podemos mencionar que también es un esquema M-ario, con  $M = 8-16-64-128-256-1024$ , etc.

Por ejemplo, el QAM de ocho (8-QAM), es una técnica de codificación M-ario, en donde  $M = 8$ . se representa por un tritbit. Así como en 16-PSK, el 16-QAM es un sistema

M-ario, en donde  $M= 16$ . Actúa sobre los datos de entrada en grupos de cuatro ( $2^4 = 16$ ). Como con el 8-QAM, tanto la fase y la amplitud de la portadora transmisora son variados.

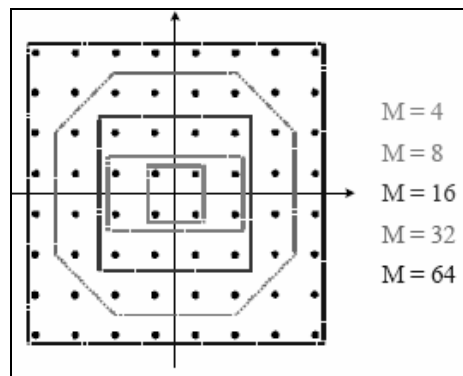


Figura 3.13 Constelación QAM

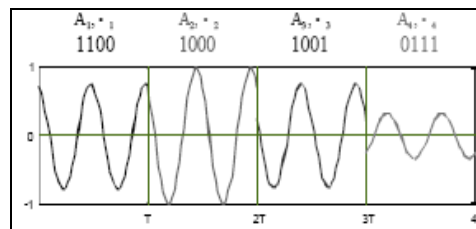


Figura 3.14 Ejemplo 16QAM

### 3.1.6.3 OFDM (Modulación por División Ortogonal de Frecuencias)

La modulación por división ortogonal de frecuencia, en inglés Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), es una modulación que consiste en enviar la información modulando en QAM o en PSK un conjunto de portadoras de diferente frecuencia distribuidas a lo largo del espectro total disponible, lo que establece distintos canales lógicos con diferentes bandas de frecuencia dentro de un mismo canal físico. La modulación OFDM es muy robusta frente al multitrayecto, que es muy habitual en los canales de radiodifusión, frente a los desvanecimientos selectivos en frecuencia y frente a las interferencias de RF.

Un sistema OFDM, toma una ráfaga de datos a una fracción de  $1/n$  de la original. Cada ráfaga es entonces mapeada a un tono de una única frecuencia y combinados juntos utilizando la Transformada Inversa de Fourier (IFFT), para producir la forma de onda en el dominio del tiempo que será transmitida.

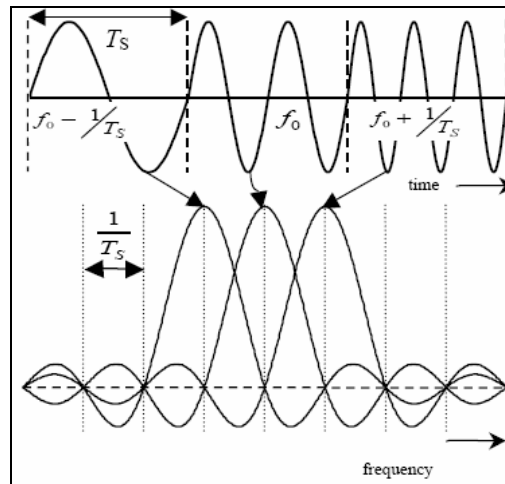


Figura 3.15 Ejemplo OFDM

### 3.2 PLC/PLT Estandarización

Disponer de normas y reglamentos técnicos es esencial para el desarrollo y la aplicación práctica de la tecnología PLT/PLC. Además como toda nueva tecnología necesita estándares (Bandas de frecuencias, potencias límites de compatibilidad electromagnética, etc).

#### 3.2.1 Estandarización PHY y MAC

Estas estandarizaciones las podemos tratar de dos formas, la primera desde el punto de vista PHY (Capa Física) y MAC utilizadas por varias asociaciones y alianzas, como resultado de sus esfuerzos; y la segunda por las actividades que realizan los cuerpos de estandarización (ETSI, IEEE).

##### 3.2.1.1 Especificaciones Existentes

Cuatro son las entidades que están lanzando especificaciones PLC en PHY y MAC.

- La alianza Homeplug
- La alianza CEPCA
- El consorcio OPERA
- La asociación UPA

### **3.2.1.1.1 Especificaciones Homeplug**

La alianza Homeplug fue creada en Marzo del 2000. Su primera tarea fue el Homeplug 1.0 en junio del 2001 para in-home networking. En agosto del 2005 se lanzó una nueva especificación, Homeplug AV, para aplicaciones de audio y video en el hogar.

Históricamente solo se enfocaba en las aplicaciones in-home, pero la alianza anuncio en julio del 2004 que también lo hará para aplicaciones de acceso BPL (Homeplug PBL). En marzo del 2005, anuncio también futuras especificaciones para aplicaciones de “control y manejo”, (Homeplug CC).

La directiva de Homeplug incluye representantes de 10 compañías: Comcast, Earthlink, General Electric Security, Intel, Linksys, Motorota, Radioshack, Samsung, Sharp, Sony. Desde diciembre del 2005 esta presidida por Intel.<sup>32</sup>

#### **Homeplug 1.0**

Esta enfocada a in-home networking. Basada en la modulación OFDM lo que provee un throughput máximo de 14Mbps en la capa PHY. El Homeplug 1.0 MAC es una variación del conocido protocolo CSMA/CA, proveyendo acceso priorizando al canal. Aunque esta especificación no es apropiada para soportar emisión de audio y video, debido a esta nueva demanda estas aplicaciones justifican el desarrollo de una nueva especificación.

#### **Homeplug AV**

Esta aplicación está enfocada en aplicaciones de audio y video para el hogar, esta basada en la modulación OFDM proveyendo un throughput máximo de 200Mbps en la capa PHY, además esta diseñado para soportar tanto acceso TDMA como CSMA con una sincronización en el ciclo de la línea de AC. Los nuevos chips fueron presentados por Intellon en Enero del 2006.

---

<sup>32</sup> Report on The Progress of PLC Standardisation, Enero del 2006 , OPERA

### **Homeplug BPL**

Esta especificación esta enfocada para aplicaciones de acceso, hasta el momento solo se la ha nombrado no existe una especificación establecida hasta el momento, el objetivo es usar la misma PHY y MAC que el Homeplug AV, pero aún no esta claro.

#### **3.2.1.1.2 Especificaciones CEPCA**

La alianza CEPCA<sup>33</sup> fue creada en junio del 2005, e incluye importantes fabricantes de equipos electrónicos de consumo como: Analog Devices, Delta Electronics, Hitachi, Mitsubishi, MMC, Panasonic, Pioneer, Sanyo, Sony, ST&T, Toshiba, Yamaha.

CEPCA esta finalizando su especificación para PHY y MAC en aplicaciones de audio y video in-home, estará lista para el 2006, además esta luchando por la existencia de un estándar entre cualquier tipo de tecnología PLC/PLT ya sea de acceso o in-home, como la UPA lo hace.

#### **3.2.1.1.3 Especificación OPERA**

La primera fase de opera es un proyecto de dos años (2004-2005) fundada en parte por comisiones europeas. El proyecto contempla especificaciones PHY y MAC para redes de acceso, así como especificaciones complementarias a los sistemas para esas redes. La capa PHY de OPERA esta basada en modulación OFDM proveyendo un throughput máximo de 200 Mbps, mientras la MAC esta basada en acceso TDMA. Sus especificaciones son públicas y están abiertos a aportes para continuar con sus esfuerzos de especificación.

#### **3.2.1.1.4 Especificación UPA**

UPA (Universal Powerline Association) fue creada en diciembre del 2004, entre sus miembros se encuentran: Ascom, Corinex, DS2, Duke Power, Ambient, Tecnom, Toshiba, Llevo (Grupo Schneideer), etc.

---

<sup>33</sup> CEPCA (Consumer Electronic Powerline Communications Alliance)

Esperan promover, una especificación tanto para acceso como para sistemas in-home, así como coexistencia entre las mismas, además de una etiqueta de certificación. Hasta ahora ha firmado una carta de entendimiento con OPERA, ha finalizado una especificación para sistemas in-home, y sigue con la creación de una especificación de coexistencia de sistemas así como CEPCA, su especificación de coexistencia esta basada en un protocolo simple para poder ser implementado a bajo costo por cualquier tecnología PLC/PLT, el objetivo es hacer más fácil la aceptación por la industria en poco tiempo.

### **3.2.1.2 Cuerpos de Estandarización**

#### **3.2.1.2.1 Actividades del ETSI en PLC/PLT**

ETSI PLT fue creado en septiembre de 1999, su presidente es Víctor Domínguez (DS2) y vicepresidente Roger Sami (Sagem Group). Desde entonces 24 artículos han sido creados de los cuales 4 aún están en marcha:

- Detailed In-House Architecture and Protocols, creado en Diciembre del 2000 por Sony.
- Programmable Power Spectral Density Mask, creado en Marzo del 2001 por Sagem.
- Layer 1 and 2 of a comprehensive PLC system, creado en Julio del 2005 por PPC.
- Coexistence Mechanism for PLT modems, creado en octubre del 2005 por Sony.

ETSI PLT ha publicado 2 especificaciones técnicas y 9 reportes técnicos en varios frentes como: características de las redes, características de los canales, problemas en los nodos, emisiones de radio, máscaras PSD programables, coexistencia de sistemas, etc.

El ETSI fue el primero en publicar una especificación técnica para la coexistencia entre acceso e in-home en Noviembre del 2004, pero esta especificación hecha tempranamente y basada en una simple compartición de frecuencias no fue tomada con gran consenso por la industria la cual finalmente no fue reconocida.

### 3.2.1.2.2 El proyecto de estandarización IEEE P1901

La petición para el proyecto IEEE<sup>34</sup> P1901 fue aceptada por el concejo de la IEEE en Junio del 2005, el objetivo es especificar uno o varios estándares para PHY y MAC para acceso como para sistemas in-home tanto en lo que se refiere a coexistencia como interoperabilidad.

El proyecto de estandarización debe ser rápido, una especificación se espera para Diciembre del 2006, sin embargo el proceso se basa en una selección y siguiendo paso de revisión:

- De acuerdo a la información conocida (topologías, casos, canal, modelos de ruido, términos y definiciones).
- De acuerdo con requerimientos funcionales y técnicos.
- De acuerdo con los detalles y procesos de selección
- Proceso de selección.

Entre los miembros que apoyan se encuentran entre los más conocidos: Ascom, CEPCA, Corinex, DS2, Earthlink, HomePlug Alliance, Intellon, Intel, Mitsubishi, Panasonic, Pioneer, PUA, Radio Shack, Sony, etc.

Aunque aún hay que esperar a que se llegue a un consenso ya que cada compañía tiene un voto y para adoptar un estándar necesita el 75% de la mayoría como mínimo.

### 3.2.1.2 Aspectos EMC.

La elaboración de normas armonizadas que cubran los aspectos de EMC (Compatibilidad Electromagnética) de las redes de telecomunicaciones que usan cables o cualquier otro medio físico es un proceso largo, a continuación se describen algunas normas de ciertos organismos.

---

<sup>34</sup> IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)



- El SC205A de CENELEC<sup>35</sup> trabaja en la ES 59013 que define el espectro de frecuencias a utilizar por las aplicaciones de acceso y domesticas con frecuencia de separación en 13.5MHz.
- En Alemania existe una norma Reg. TP NB30 para transmisiones electromagnéticas guiadas por cables (hasta 3 GHz) solo de aplicación nacional, para el Reino Unido también existe una especificación nacional MTP 1570, para EMC de hasta 300 MHz.
- En USA, la FCC parte 15, establece límites de emisión del doble de los considerados en Europa, Así la norma centrándose en la frecuencia de 10MHz, exige no superar limites de 70dB/uV/m frente a los 30 dB/uV/m exigidos por la NB30 alemana. En cualquier caso todos estos límites están por debajo de los 150 dB/uV/m establecidos para la seguridad humana.

---

<sup>35</sup> CENELEC: European Committee for Electrotechnical Standardization

## **CAPITULO 4**

### **IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO Y PRUEBAS**

En este capítulo se describen los procedimientos para realizar la investigación experimental, pruebas, mediciones y observaciones de un canal PLT/PLC. Para validar las pruebas se planteo un circuito referencial y se implemento, las mediciones se hicieron usando los equipos de los laboratorios del Departamento de Eléctrica y Electrónica de la ESPE donde se realizaron las pruebas, además el objetivo es que dichas pruebas sirvan como referencia para ser hechas en cableados residenciales o de oficinas. También se implementó una red LAN en las instalaciones de CITIC para la interconexión de varios computadores a lo largo de la edificación usando la tecnología PLT/PLC y utilizando los dispositivos para verificar e identificar puntos de conexión apropiados.

#### **4.1 Circuito Teórico Referencial**

El circuito teórico referencial está basado en el uso de cable eléctrico número AWG 12 estándar (cobertor PVC, 20 A., rígido) nuevo, escogido por ser parte de los valores típicos de las edificaciones (10,12,14), y encontrarse en el medio de los mismos, con una distancia de 45 metros ya que generalmente desde el punto más distante en una casa u oficina, hacia la caja de breakers no excede esa distancia.

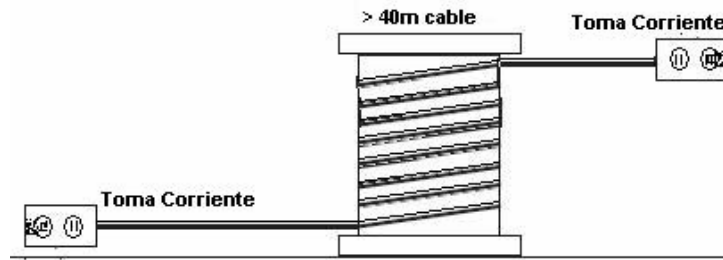


Figura 4.1 Esquema Propuesto

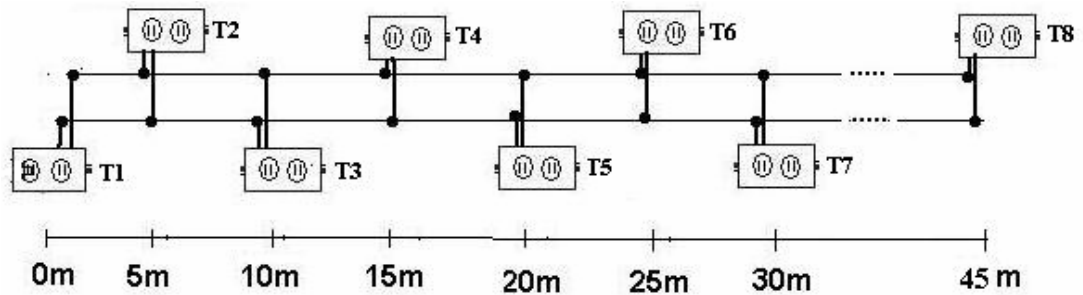


Figura 4.2 Esquema propuesto desplegado

## 4.2 Equipos y Procesamiento de las mediciones.

A continuación se realiza una explicación general de los equipos usados para realizar las pruebas en las líneas de distribución eléctrica.

### 4.2.1 Pruebas Propuestas y Equipos Usados

A continuación se muestran las pruebas y los equipos para desarrollarlas (Tabla 4.1).

- Analizador de Espectros, con rango de trabajo por encima de 100 MHz, y que detecte señales a frecuencias lo más bajas posibles. Usado para analizar la atenuación, respuesta en frecuencia de las pruebas realizadas, y que posea opción para la medida de la distorsión armónica.
- Generador de Señales, que trabaje desde 1Hz hasta 100Mhz, voltaje de salida hasta 10 V<sub>pp</sub>. Para generar las frecuencias de interés (de 60Hz a 30MHz), en las pruebas.

- Osciloscopio Digital, que pueda visualizar en el rango de 1Hz a 100 MHz, usado para observar la respuesta en el dominio el tiempo de las pruebas realizadas.
- Analizador de Redes, con un rango de trabajo para las pruebas, puertos IN y OUT o puerto de reflexión, y opción para medida de Impedancia (Carta de Smith); usado para realizar las pruebas de respuesta en frecuencia de los dispositivos, del canal y obtener los datos de impedancia del canal.

**Tabla 4.1 Pruebas y Equipos Necesarios**

Pruebas	Equipos
Caracterización del Acople PLT	Generador de Señales Osciloscopio
Atenuación del Cable	Generador de Señales Analizador de Espectros
Impedancia del Cable	Analizador de Redes
Respuesta en Frecuencia del canal PLT	Analizador de Redes
Análisis de Fuentes de Ruido	Analizador de Espectros Osciloscopio
Distorsión Armónica del Canal PLT	Generador de Señales Analizador de Espectros

#### 4.2.2 Procesamiento de las mediciones

Para la presentación, proceso, evaluación y análisis de los resultados de las pruebas realizadas se utilizaron algunas herramientas de software:

- Multisim, este software es la actual base de sistemas de simulación electrónica, de la marca Electronics Workbench y se complementa con una aplicación llamada Commsim que sirve para diseñar redes de telecomunicaciones. Multisim fue utilizado para simular los circuitos y graficarlos.

- EXCEL, herramienta parte del paquete Office de Windows que sirve para manejar hojas de datos y nos sirvió para analizar, comparar y graficar los resultados obtenidos en las pruebas.
- Iogear HomePlug configuration software, adjunto con los bridges PLT, para análisis de calidad de conexión, reconocimiento de dispositivos. Usado en las pruebas sobre LAN.

### 4.3 Procedimiento de pruebas.

A continuación se detallará las pruebas, procedimientos y resultados de las pruebas hechas para los diferentes temas de interés para la caracterización de una red PLT/PLC.

#### 4.3.1 Acoples

Uno de los componentes más importante de cualquier sistema PLC/PLT es el circuito de interfase (circuito de acople) con la red de distribución de energía eléctrica, el cual es usado para inyectar una señal de alta frecuencia a la línea eléctrica, el acople actúa como un filtro pasa-altos, evitando la baja frecuencia y alto voltaje de la línea eléctrica (110 V y 60 Hz) y dejando pasar las altas frecuencias y bajos voltajes de los sistemas PLC/PLT.

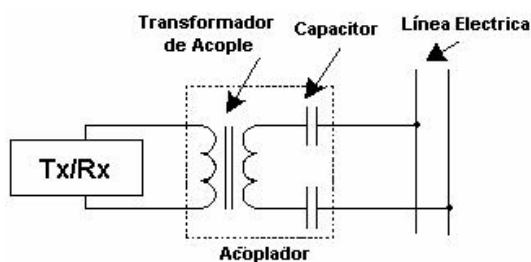
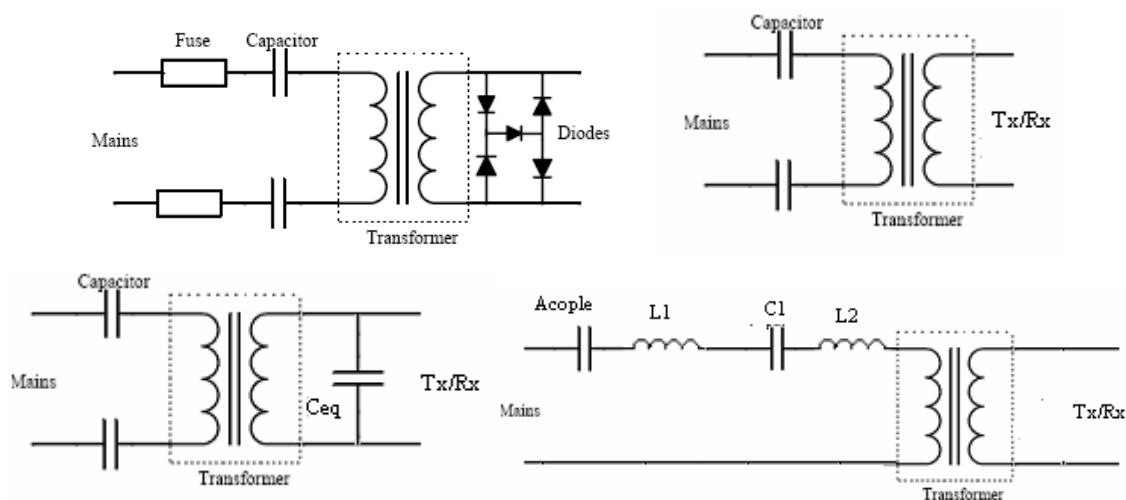


Figura 4.3 Diagrama del Acoplador Usado

El circuito de acople debe proveer al sistema PLC/PLT el aislamiento galvánico necesario de la línea eléctrica, el cual se lo puede lograr a través de acoplamientos inductivos o capacitivos. El acoplamiento inductivo se caracteriza por tener un poco de pérdidas de algunos dB's, sin embargo evita una conexión física con la red eléctrica lo que lo hace más seguro y más fácil de instalar que los de tipo capacitivo. Por otro lado el

acoplamiento capacitivo realiza la acción de filtro pasa-altos con dispositivos electrónicos sencillos y pequeños. Pero generalmente los circuitos prácticos de acople usan una combinación de ambos, y sus diseños son simples como los mostrados en las siguientes figuras:



**Figura 4.4 Diseños Simples de Acoples PLT/PLC**

Cabe mencionar que los dispositivos de acople pueden ser activos o pasivos, siendo los pasivos los vistos anteriormente que usan transformadores, y elementos capacitivos e inductivos, incluso existen transformadores como integrados así por ejemplo LPT10 FTT10A de Echelon y el T60403-K5026-X023 de VAC<sup>36</sup>, que fue utilizando para los acoples. Dentro de los dispositivos activos ya se encuentran desarrollados algunos como el NEURON, que pertenece a la empresa LONWORKS para uso en PLC/PLT y el cual se realiza con la interfaz RS485.

Un circuito de acople típico y el utilizado para este trabajo generalmente emplea dos capacitores de alto voltaje (10nF) para filtrar la forma de onda de la señal eléctrica de alta potencia y un transformador de acople (9-30uH) o llamado también transformador de banda ancha, se puede o no usar diodos como protección de sobrevoltaje. Así se consigue que el acople pueda dejar pasar señales sobre los 0.5 MHz bloqueando la señal eléctrica a 60 Hz, protegiendo la parte digital del emisor y receptor.

<sup>36</sup> VAC. Vacuumschmelze

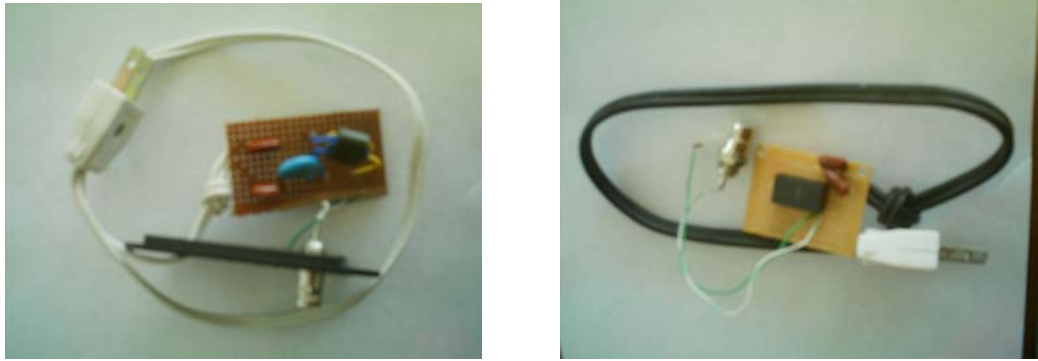


Figura 4.5 Vista de los acoples usados Izq. Tipo A, Der. Tipo B

Para comenzar con las pruebas y llegar a hacer la caracterización de las líneas de distribución de energía eléctrica, es necesario primero caracterizar los acoples que van a ser utilizados ya que estos son indispensables para separar los sistemas de medición de la red eléctrica de 120 V<sub>AC</sub>. Estos acoples también hacen parte integral y necesaria de los dispositivos para transmisión de datos por la red eléctrica.

#### 4.3.1.1 Procedimiento

Existen varios métodos por los cuales se puede evaluar el comportamiento de los acoples PLC/PLT. Como se había mencionado los acoples son filtros pasa altos bidireccionales, para su evaluación se procede como se haría con otros filtros en los que se desconoce la respuesta en frecuencia de los mismos.

I. Arme el siguiente esquema de conexión.

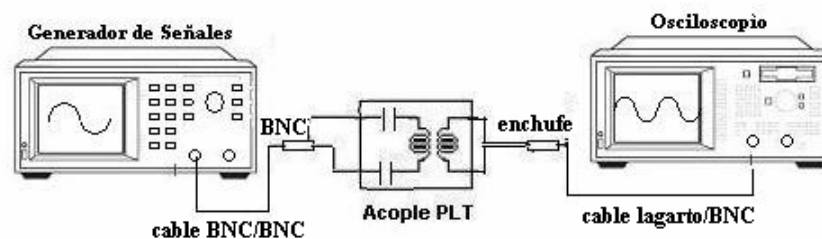


Figura 4.6 Esquema Prueba de los Acoples

II. Configure y Conecte el Generador de señales a la entrada del acople PLT

Señal 10 V<sub>pp</sub> (23.98dBm)

### Onda Seno

III. Configure y Conecte el Osciloscopio a la salida del acople PLT.

Escala 5V/div, y ajuste el tiempo según frecuencia.

IV. Realice un barrido de frecuencia entre 10 Hz y 30 Mhz o el máximo del generador.

V. Se registran los valores de voltaje de la señal de entrada como salida del acople para cada frecuencia.

VI. Se Obtiene ganancia o atenuación comparando los dos, mediante:  $G = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}}$ .

VII. Se Aplica la fórmula  $G(dB) = 20 \times \log(G)$ .

Con estos valores se grafica en EXCEL la respuesta del acople dB vs Frecuencia

Nota: En lugar del osciloscopio se puede usar un analizador de espectros, el cual nos da datos de potencia en dBm, estos los pasamos a vatios (W) y usamos la fórmula

$$G(dB) = 10 \times \log\left(\frac{W_{out}}{W_{in}}\right), \text{ para obtener los valores en dBs.}$$

También se puede hacer la comparación directamente en el equipo y visualizar en su pantalla. La configuración del Analizador es: Nivel de referencia 0dBm, Atenuación de 10 dB, Escala 10 dB/div y logarítmica, y con un frecuencia de inicio y fin de 1 a 30 MHz.

#### 4.3.1.2 Resultados

En las siguientes gráficas se observan los resultados de las primeras pruebas realizadas, a partir de las cuales se obtendrán las conclusiones.

Con el primer procedimiento se puede observar la imagen obtenida del analizador de espectros, con un span de 40 Mhz, centrado en 15Mhz, y nivel de referencia de 10dBm, el cual permite observar la curva de respuesta de los acoples, se llamará Acople tipo A al que esta construido en base a ferritas y Acople tipo B al que fue construido usando un transformador de acople comercial encapsulado el T60403-K5026-X023 de VAC.



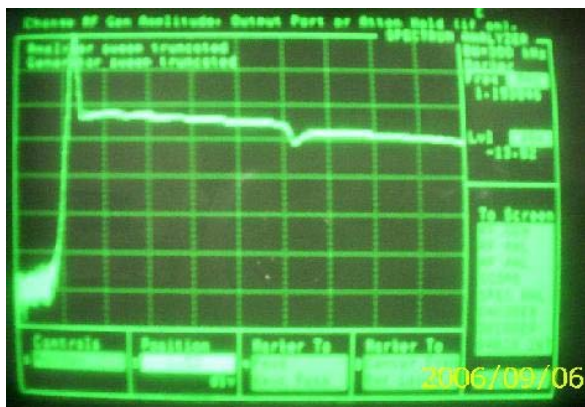


Figura 4.7 Respuesta acople tipo A con Analizador de Espectros

De la grafica se pudo obtener que la curva de respuesta es casi lineal para el rango deseado.

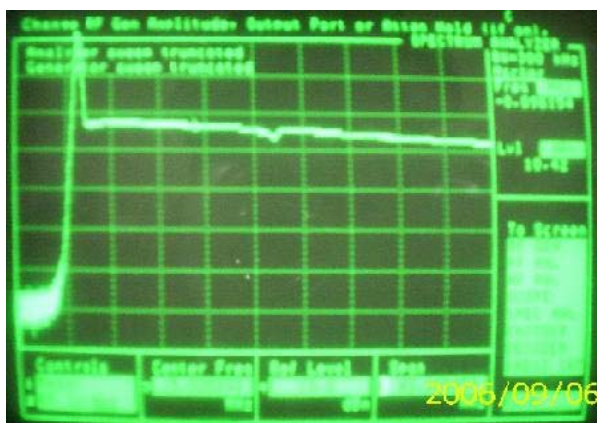


Figura 4.8 Respuesta acople tipo B con Analizador de Espectros

En la grafica con el acople tipo B se observa que la curva de respuesta posee una mejor respuesta e igual casi lineal en el rango deseado.

Los resultados del segundo procedimiento una vez hechas las comparaciones y cálculos matemáticos para ser representados en dB's explicados antes, se muestran en las siguientes gráficas

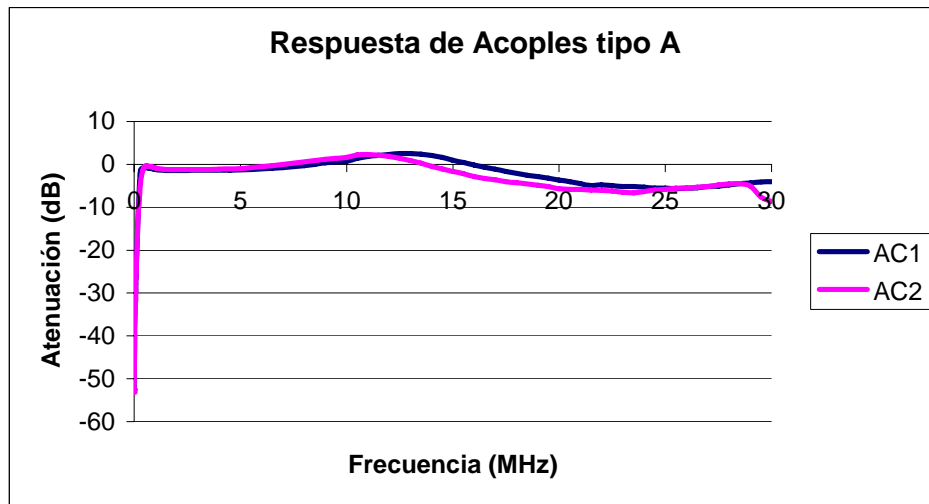


Figura 4.9 Respuesta acople tipo A

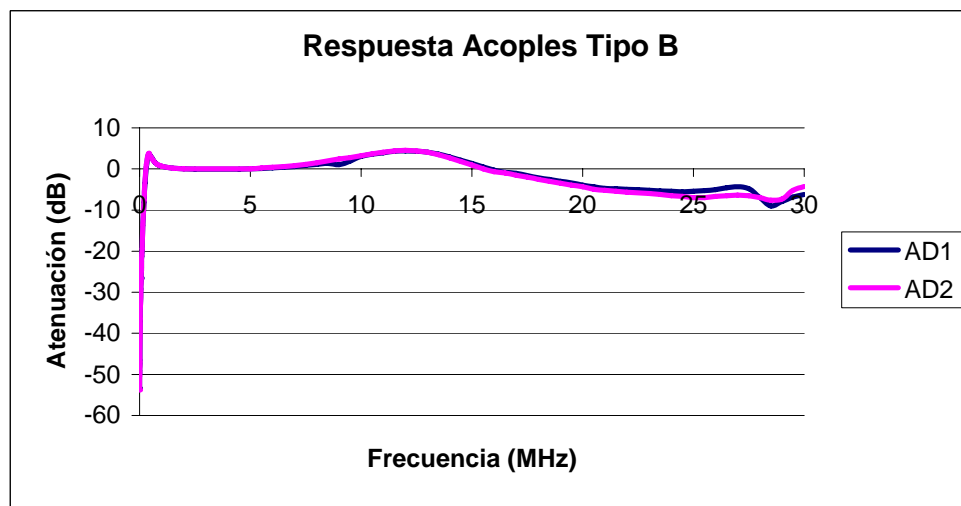


Figura 4.10 Respuesta acople tipo B

En las figuras anteriores se observa que se logra el funcionamiento pasa altos deseado, de los datos obtenidos y como se puede observar también en las figuras se encuentra que los acoples tipo A poseen una señal muy parecida con ciertas variaciones debido a que las ferritas fueron elegidas de entre muy pocas encontradas mediante ensayo y error, con un atenuación a 60 Hz de entre 52-53 dB. Mientras los acoples tipo B poseen una mayor similitud entre si y su repuesta según frecuencia con una atenuación a 60 Hz de 53dB. En algunos textos y papers<sup>37</sup>, plantean el uso de diodos de alta frecuencia como protección de los dispositivos de recepción. Al realizar la simulación se observó que esto provoca irregularidades en ciertas frecuencias. Por lo tanto frente a los resultados se puede

<sup>37</sup> Design of Broadband Coupling Circuits for Powerline Communications, Osamma Bilal, Er Liu.

concluir que efectivamente cumplen con las características deseadas para los propósitos considerados.

### 4.3.2 Atenuación

En telecomunicación, se denomina atenuación de una señal, sea esta acústica, eléctrica u óptica, a la pérdida de potencia sufrida por la misma al transitar por cualquier medio de transmisión.

Así, si introducimos una señal eléctrica con una potencia  $P_1$  en un circuito pasivo, como puede ser un cable, esta sufrirá una atenuación y al final de dicho circuito se obtendrá una potencia  $P_2$ . La atenuación ( $\alpha$ ) será igual a la diferencia entre ambas potencias.

No obstante, la atenuación no suele expresarse como diferencia de potencias sino en unidades logarítmicas como el decibelio, de manejo más cómodo a la hora de efectuar cálculos, pero también se puede medir en porcentajes. Por lo general, la atenuación depende de la frecuencia, es decir la cantidad de atenuación varía en función de la frecuencia

La atenuación, en el caso del ejemplo anterior vendría, de este modo, expresada en decibelios por la fórmula siguiente:

$$\alpha = 10 \times \log \frac{P_1}{P_2} \quad (4.1)$$

La atenuación es un factor importante en nuestra conexión ya que con mayor atenuación, tendremos una conexión inestable, con caídas, desconexiones<sup>38</sup> etc.

---

<sup>38</sup> Attenuation Characteristics of High Rate Home Networking PLT signals, Charles J. Kim.

### 4.3.2.1 Procedimiento

La estimación de la atenuación de una línea retransmisión se puede realizar utilizando diferentes metodologías. Una estimación de la atenuación en nuestro caso implica las mediciones en el medio natural y el medio alimentado por electricidad para un número de puntos conocidos, por lo cual obtendremos una gran cantidad de mediciones, las cuales pueden variar dependiendo del rango de tiempo de la medición así como otras características de la red PLT/PLC.

Con fines prácticos y para disminuir la extensión de las pruebas y aún así obtener una caracterización que se aproxime a la respuesta real del canal PLT/PLC, no se realizó mediciones con cargas individuales o en largos períodos de tiempo. Además se realizó una medición básica del medio y del medio con energía eléctrica conectada, así mismo con el menor número de cargas posibles para suponer la no existencia de ellos. Para esta medición se planteó dos procedimientos para evaluar la atenuación de la línea PLT/PLC.

#### Procedimiento

- I. Arme el siguiente esquema de conexión, en el circuito teórico referencial.

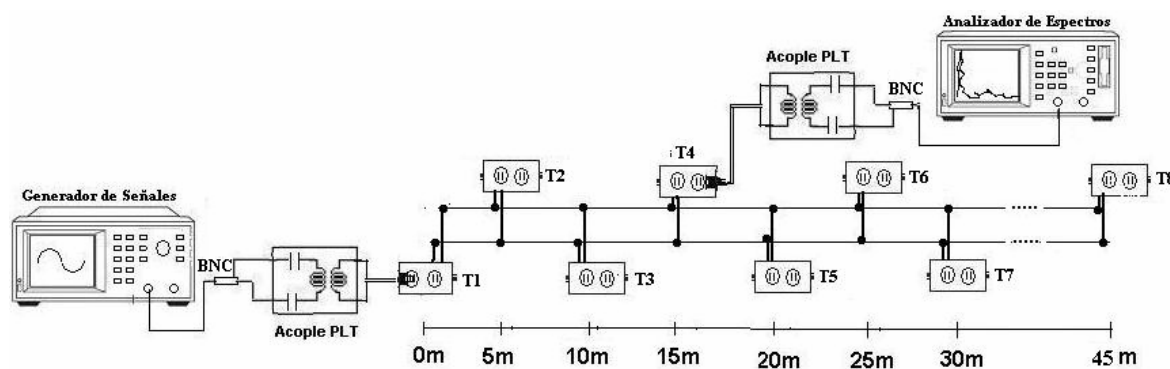


Figura 4.11 Red Experimental para análisis de Señales y atenuación en red PLT/PLC

- II. Configure y Conecte el Generador de Señales al acople PLT y el otro extremo del acople a un extremo de la red, como en la figura del punto I.

Señal  $10 V_{PP}$  (23.98dBm)

Onda Seno

- III. Configure y Conecte el analizador en un punto de la red que le sea de interés, como en la figura del punto I, también se puede usar un vatímetro.

La configuración del Analizador es: Nivel de referencia 0dBm, Atenuación de 10 dB, Escala 10 dB/div y logarítmica.

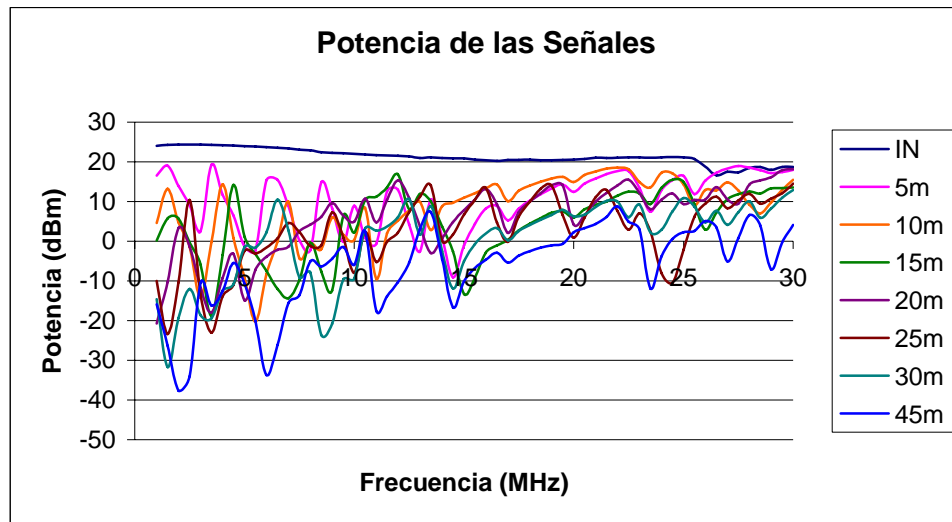
- IV. Genere un barrido de señal en el rango de interés (1-30 Mhz).
- V. Mida y registre la potencia de entrada a la red, y en el punto de salida elegido (Generalmente en dBm o W).
- VI. Elabore una tabla con los datos obtenidos, de ser el caso pase dBm a vatios y para representar en dB's, use la fórmula  $A(dB) = 10 \times \log\left(\frac{P_{OUT}(W)}{P_{IN}(W)}\right)$ .
- VII. Repita los pasos anteriores, cambiando el punto de medición hasta completar todos los puntos de interés.
- VIII. Terminada la tabla, se grafica y obtiene la relación Atenuación vs Distancia.

**Nota:** De no disponer de un analizador de espectro o un vatímetro, use un osciloscopio midiendo el voltaje pico-pico de entrada y salida, en la misma configuración anterior y aplique la fórmula  $A(dB) = 20 \times \log\left(\frac{V_{OUTpp}}{V_{INpp}}\right)$ , para obtener los valores en dBs.

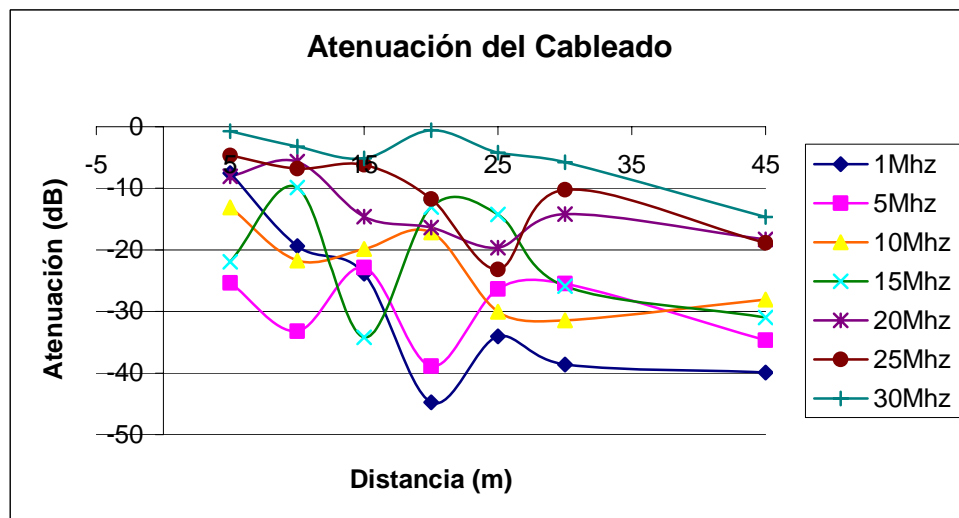
La configuración del osciloscopio es: escala 5V/div, y ajuste el tiempo según frecuencia.

#### 4.3.2.1 Resultados

Como se había mencionado se utilizó para el análisis el rango de frecuencias de interés, el cual fue medido en partes de la red teórica propuesta donde conocíamos su distancia como se puede observar en la figura 4.12, que representa las medidas del medio, el comportamiento de la señal entrada-salida según su potencia (a) y la atenuación según distancia a ciertas frecuencias (b), donde podemos observar que efectivamente la distancia y la frecuencia intervienen en el factor de atenuación.



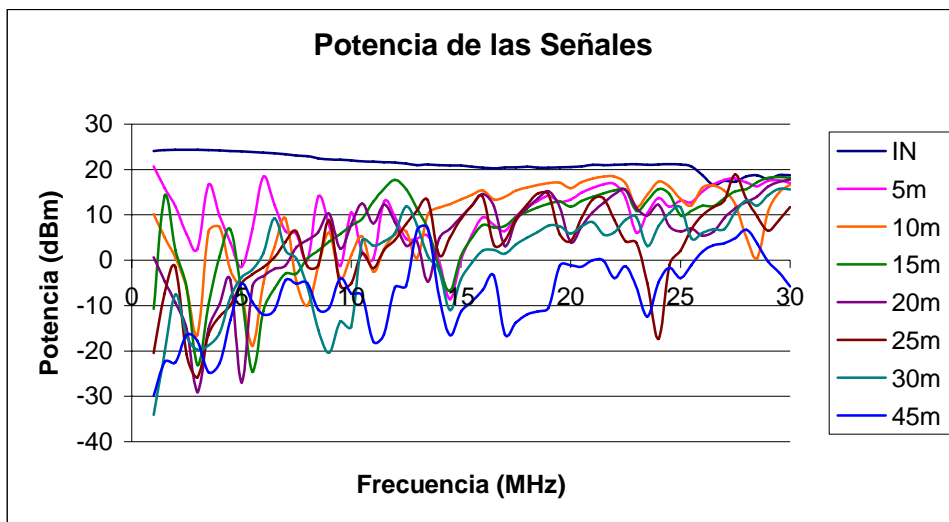
a)



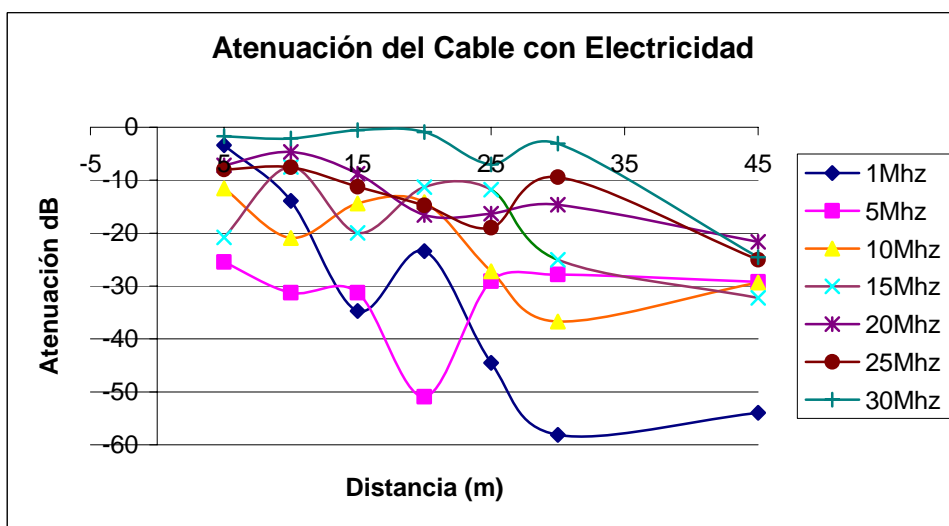
b)

Figura 4.12 a) Potencia de Señales b) Atenuación vs Distancia

En las gráficas de la figura 4.13 se observa y ratifica que la sola presencia de la energía eléctrica circulando por la red teórica modifica el comportamiento de las señales en la red PLT/PLC.



a)



b)

Figura 4.13 a) Potencia de Señales b) Atenuación vs Distancia

La potencia de las portadoras es sensible a sufrir atenuación según la distancia. La propagación y atenuación de las señales portadoras entre 1-30 Mhz dependen de la estructura eléctrica, variación de corriente y cargas entre otras cosas

Observando las graficas es claro notar el aumento de la atenuación, que depende de la distancia, además se puede notar puntos con caídas muy pronunciadas, lo que indica que existen ciertas señales que son más sensibles que otras a los efectos de la red eléctrica.

De esto se puede concluir que la atenuación efectivamente depende de la distancia y frecuencia de la señal, por lo cual se debe tener cuidado de transmitir datos en lugares muy alejados del punto de inyección de la señal y donde se encuentre gran concentración de cargas lo cual puede producir pérdidas de datos.

La atenuación máxima para frecuencias portadoras a una distancia de hasta 45 m es de 30 dBs. Valores superiores indican problemas de cableado como: cables pelados o viejos, malos acoples de alambre, fugaz a tierra, gran cantidad de cargas.

Además cabe recalcar que las conclusiones obtenidas de las pruebas de laboratorio pueden no representar la atenuación de las señales característica de todas las casas u oficinas, pero experimentalmente puede ser tomado como una medida de referencia para los mismos.

En caso de no conocer las distancias a los puntos de medición se puede hacer un diagrama ubicando los puntos o utilizar un plano y a partir de ellos se realizan las mediciones, como ejemplos se pueden observar las figuras 4.14 y 4.15.

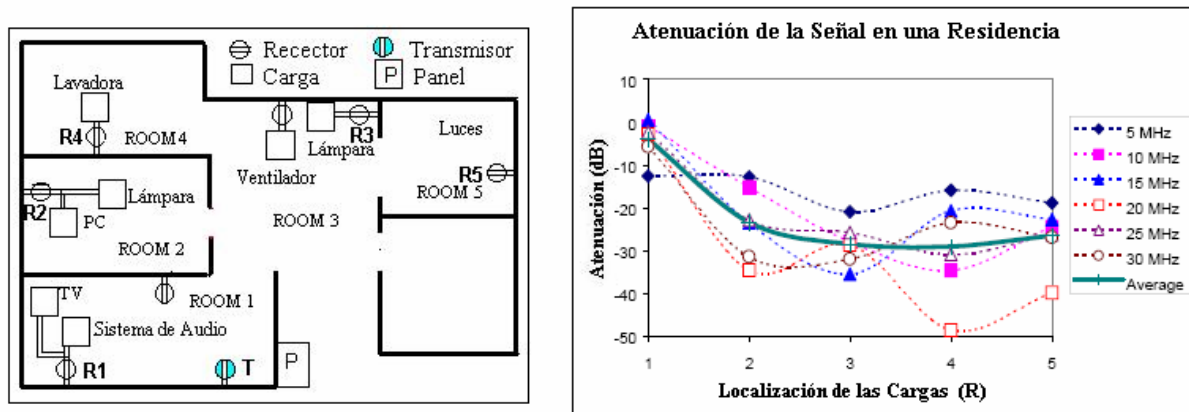


Fig. 4.14 Atenuación vs Distancia en una casa si se desconoce la distancia a los puntos a analizar



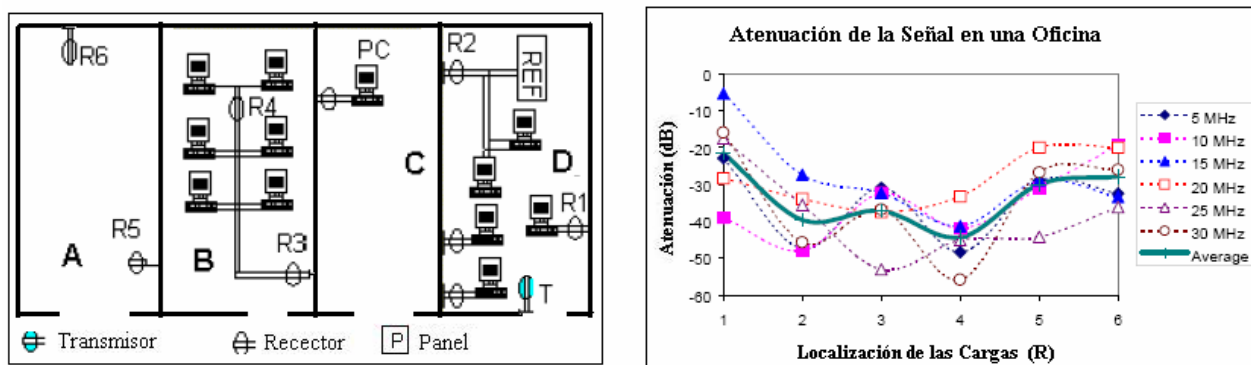


Fig 4.15 Atenuación vs Distancia en una oficina si se desconoce la distancia a los puntos a analizar

### 4.3.3 Impedancia

La medición de la impedancia resulta de la necesidad de acoplar adecuadamente las fuentes de señales de telecomunicaciones a un canal que en nuestro caso es la red de distribución de energía eléctrica interna. Para que la transmisión de señal sea de máxima eficiencia, las impedancias de fuente de señal y del canal de telecomunicaciones deben ser iguales<sup>39</sup>. Por lo tanto el conocimiento previo de la impedancia implica la posibilidad de mayor eficiencia y por esto mismo mayor alcance.

Los bobinados secundarios del transformador de distribución, el cableado interno y las cargas eléctricas determinan la impedancia residencial. La caracterización de esta impedancia es importante en el diseño de redes y sistemas in-home PLT/PLC.

#### 4.3.3.1 Procedimiento

Uno de los métodos para medir la impedancia de la línea de energía eléctrica consiste en forzar una señal de voltaje a la frecuencia de interés y medir tanto voltaje como la corriente, con lo cual se obtiene la respuesta en frecuencia de la impedancia. En otros estudios<sup>40</sup> se ha probado que la línea eléctrica residencial puede ser modelada como una impedancia distribuida con un valor determinado por:

<sup>39</sup> Teorema de máxima transferencia de potencia.

<sup>40</sup> Tesis: Estudio de Factibilidad para la Implementación de una Red LAN con Tecnología "Power Line Communicatios" para la Universidad de Ambato, Vladimir Jara, ESPE, 2005

$$Z_c = \frac{L}{C} \quad (4.3)$$

Donde L esta en uH/m y C está en uF/m, con lo cual tenemos una impedancia característica que varía para diferentes tipos cables

Gran parte del proceso de medición de impedancias para líneas de transmisión ha sido automatizado y perfeccionado desde hace varias décadas; la medición y estudio de la impedancia de una línea de transmisión se puede realizar con un equipo especializado conocido como Analizador vectorial de Redes. Este equipo posee de forma integrada todos los componentes necesarios para realizar un barrido de frecuencia, retraso, variación de fase e impedancia en un rango de frecuencia amplio. Para obtener los valores de Impedancia se usa la opción “Carta de Smith”.

La Carta de Smith, se utiliza para una variedad de propósitos incluyendo la determinación de la impedancia, adaptación de la impedancia, optimización del ruido, la estabilidad, etc. Es una ingeniosa técnica gráfica que virtualmente evita todas las tediosas operaciones con números complejos. Por ejemplo, se puede determinar la impedancia de entrada a una línea de transmisión dando su longitud eléctrica y su impedancia de carga.

## Procedimiento

- I. Arme el siguiente esquema de conexión, en el circuito teórico referencial.

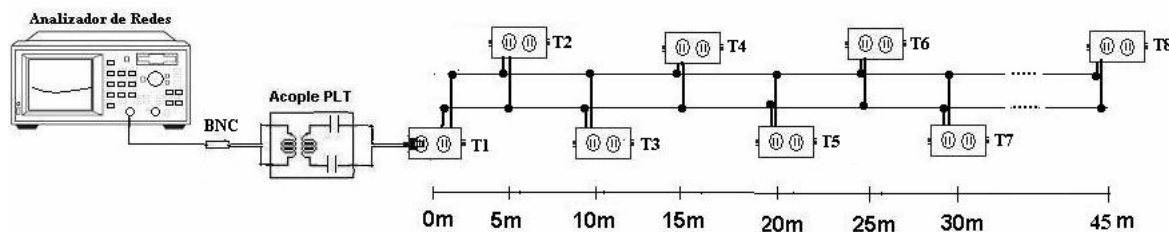


Figura 4.16 Esquema Prueba Impedancia

- II. Configure y Conecte el Analizador de Redes al acople PLT y el otro extremo del acople a cada punto de la red eléctrica.

Nivel de referencia 0dBm, Escala 10 dB/div logarítmica, potencia 0dBm y el rango de frecuencia que desee visualizar.

III. Utilice la herramienta “Carta de Smith” del analizador de redes, y obtenga los datos de impedancia según la frecuencia de la red sin cargas.

Para visualizar el valor de impedancia a cierta frecuencia use el cursor del equipo y desplace el mismo por el grafico hasta que se muestre la frecuencia que desee y el valor de impedancia.

IV. Realice el paso II nuevamente pero esta vez con las cargas conectadas.

V. Grafique los datos y obtenga la relación Impedancia vs Frecuencia.

#### 4.3.3.2 Resultados

Para estar seguros del manejo de los equipos se presentó de nuevo las características de los acoples, el barrido para esta caracterización fue desde 300KHz a 30Mhz y de 300KHz a 100Mhz, la escala vertical se encuentra en dB's, y como podemos ver para el acople tipo A posee una atenuación de 3 a 10 dB's con el punto de mayor atenuación es de  $-7.70\text{dB}$  en 24 Mhz y el menor de  $3.509\text{ dB}$  en 5.39 MHz. Mientras que para el acople tipo B, posee una atenuación menor entre 1 y 3 dB's, con el punto de mayor atenuación en  $-3.53\text{ dB}$  y el mínimo de  $-0.99\text{ dB}$  en 1.03Mhz.

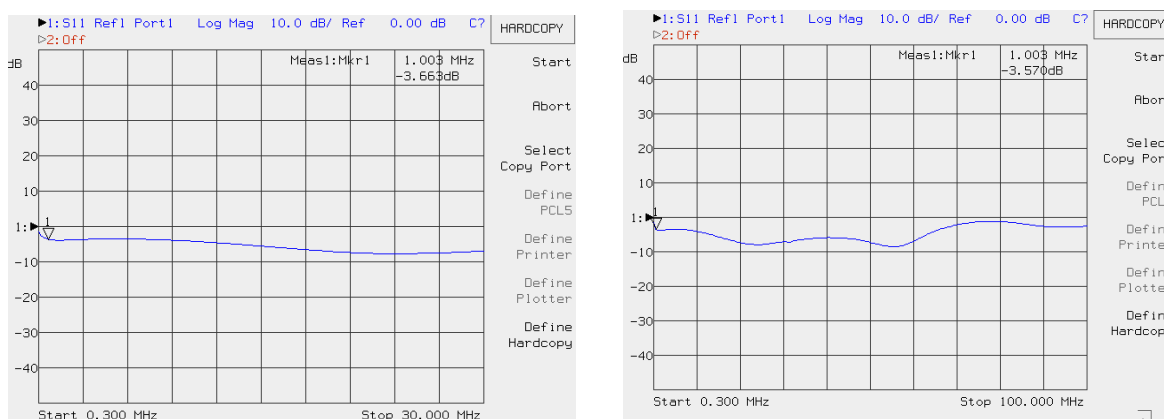
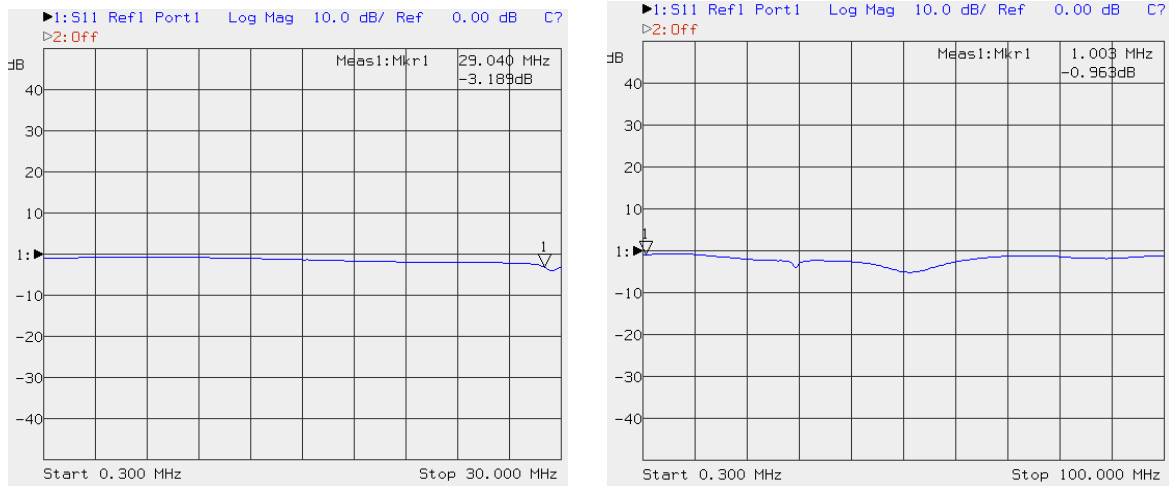
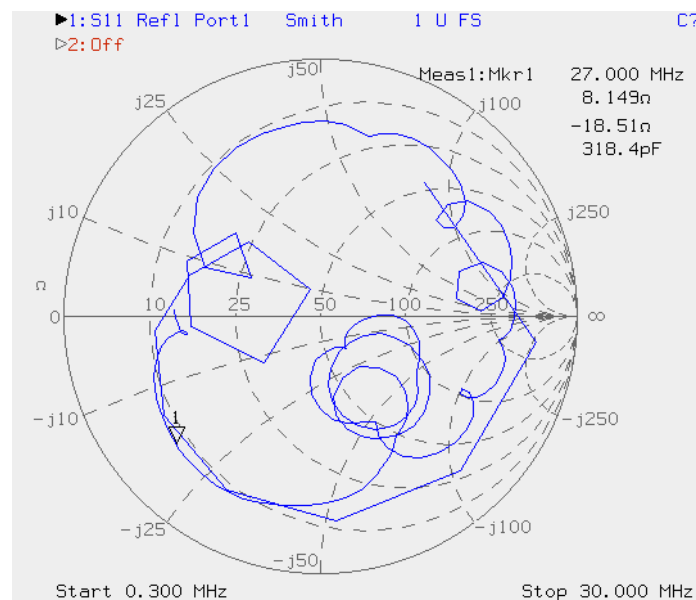


Figura 4.17 Respuesta de acople tipo A en rango de 300KHz-30Mhz y de 300KHz a 100Mhz



**Figura 4.18** Respuesta de acople tipo B en rango de 300KHz-30Mhz y de 300KHz a 100Mhz

La impedancia de la red eléctrica sin cargas se ilustra en la carta de Smith que se muestra en la figura 4.16, de la misma se tomó los valores para las frecuencias entre 1 y 30 Mhz, tomándolas cada 500KHz. Luego se siguió tomando los valores de impedancia para cada una de las diferentes distancias en el circuito teórico referencial.



**Figura 4.19** Carta de Smith red sin cargas en el primer punto de medición

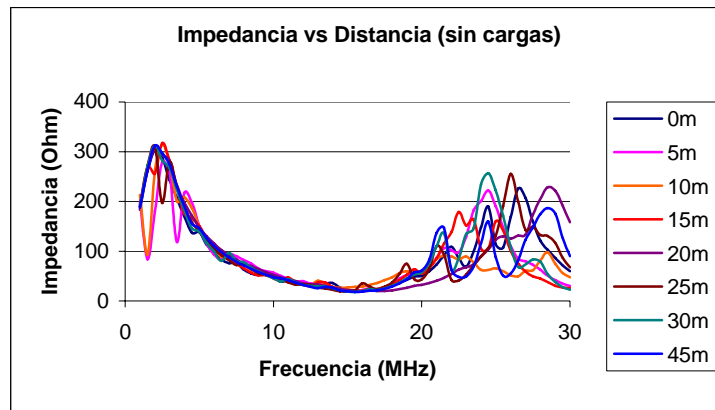


Figura 4.20 Impedancia vs Frecuencia (sin cargas)

De la carta de Smith obtenida de la red de suministro eléctrico con cargas conectadas, se extrajeron los valores de impedancia de cada frecuencia de la misma manera que se realizó cuando no había cargas (fig. 4.21).

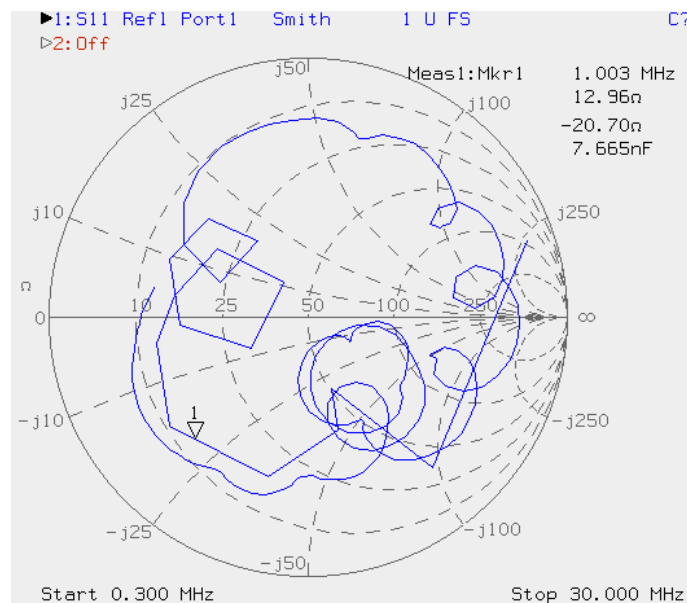


Figura 4.21 Carta de Smith red con cargas

Para obtener esta gráfica se usó varias cargas en los puntos que se describen a continuación de acuerdo al circuito teórico referencial: T1= El Analizador de Redes, T4= Taladro 400W, T6= Lámpara Fluorescente de 20W, T7= Televisor 23W, T8= PC 450 W).

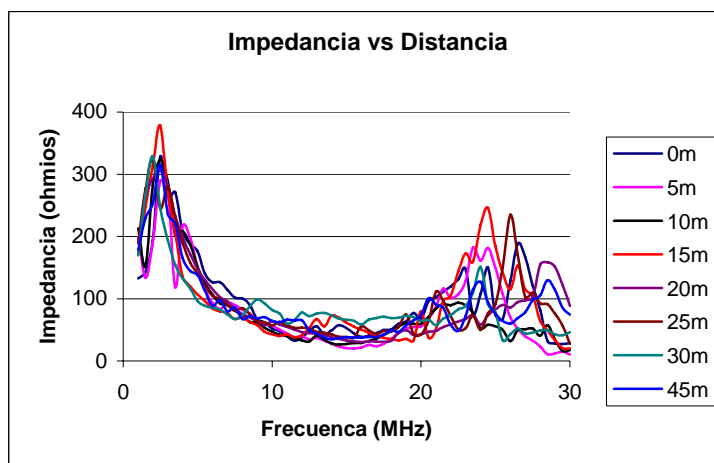


Figura 4.22 Impedancia vs Frecuencia (con cargas)

Una vez obtenidos los valores de impedancia vs frecuencia tanto de la red sin cargas como con cargas procedemos a graficarlas y compararlas utilizando EXCEL.

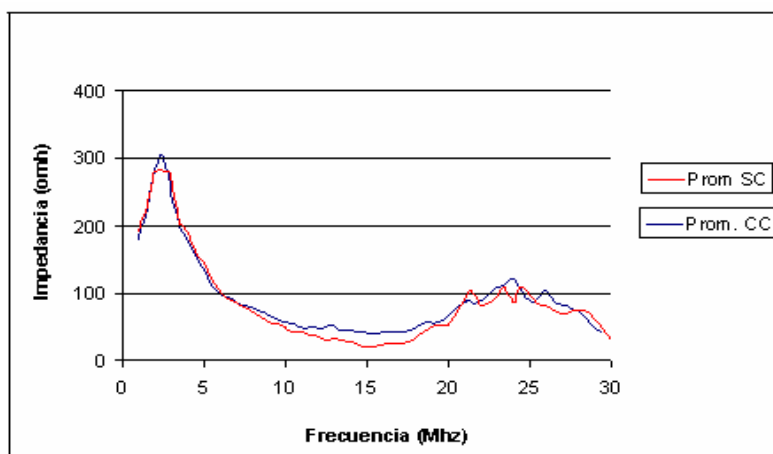


Figura 4.23 Comparación de Impedancia vs Frecuencia, de red con cargas y sin cargas

Como se puede observar la curva promedio que representa el circuito eléctrico teórico referencial con cargas es mayor o crece a ciertas frecuencias con respecto a la obtenida sin cargas.

Se aprecian valores de impedancia dentro de un rango de 10 a 100  $\Omega$  aproximadamente, aunque pueden existir frecuencias en los cuales los valores se eleven. Valores bastante altos durante gran parte de las frecuencias son indicios de gran

concentración de cargas que pueden provocar desacople de la señal y pérdida por atenuación de la señal a mayores distancias

Cargas típicas como un televisor o un calefactor, tienen impedancias menores a la impedancia de la línea eléctrica. Como es de esperarse, cargas resistivas como los calefactores dominan la región de baja frecuencia, y cargas reactivas, como los motores, los televisores y PCs dominan la parte más alta del espectro.

#### 4.3.4 Respuesta en Frecuencia

En el segmento de bajo voltaje las distancia del orden de 200m desde el transformado al usuario son las más comunes, siendo un medio compartido, con numerosas ramificaciones para servir a los usuarios. Esto hace que el medio sea extremadamente hostil, debido a: la atenuación a las frecuencias de interés con las distancia, las reflexiones que se producen en las ramificaciones, lo que hace que la función de transferencia del canal PLT/PLC presente desvanecimientos selectivos (figura 4.24)<sup>41</sup>, además esta característica tiene una variación temporal. En el segmento de distribución doméstica se presentan unas características del medio muy similares a los de la “primera milla”, pero aliviadas por las dimensiones, las distancias son más cortas (del orden de 40-50 m) y el número de ramas es menor también

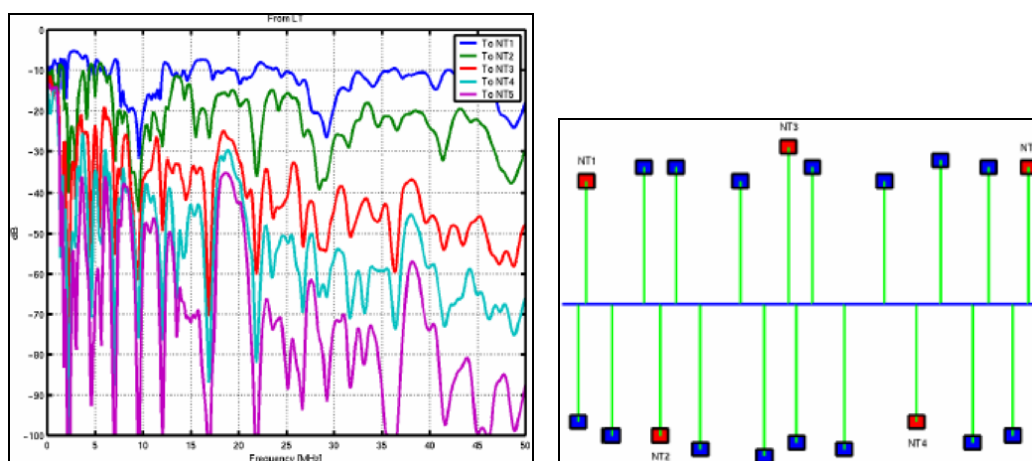


Figura 4.24 Respuesta en Frecuencia de un canal PLT/PLC en segmento de bajo voltaje

<sup>41</sup> Teoría y Aplicación a la Informática 2, Guillermo Benítez do Rego Barros

#### 4.3.4.1 Procedimiento

Para realizar estas mediciones se utilizó en analizado de redes y los acoples PLC/PLT con las que hemos venido trabajando a lo largo de las pruebas.

- I. Arme el siguiente esquema de conexión, en el circuito teórico referencial.

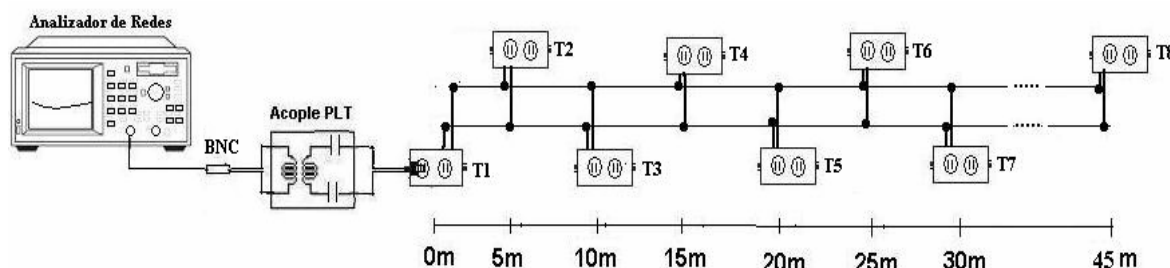


Figura 4.25 Esquema de Prueba Respuesta en Frecuencia

- II. Configure y Conecte el Analizador de Redes al acople PLT y el otro extremo del acople a un punto de la red eléctrica.

Nivel de referencia 0dBm, Escala 10 dB/div logarítmica, y el rango de frecuencia que desee visualizar.

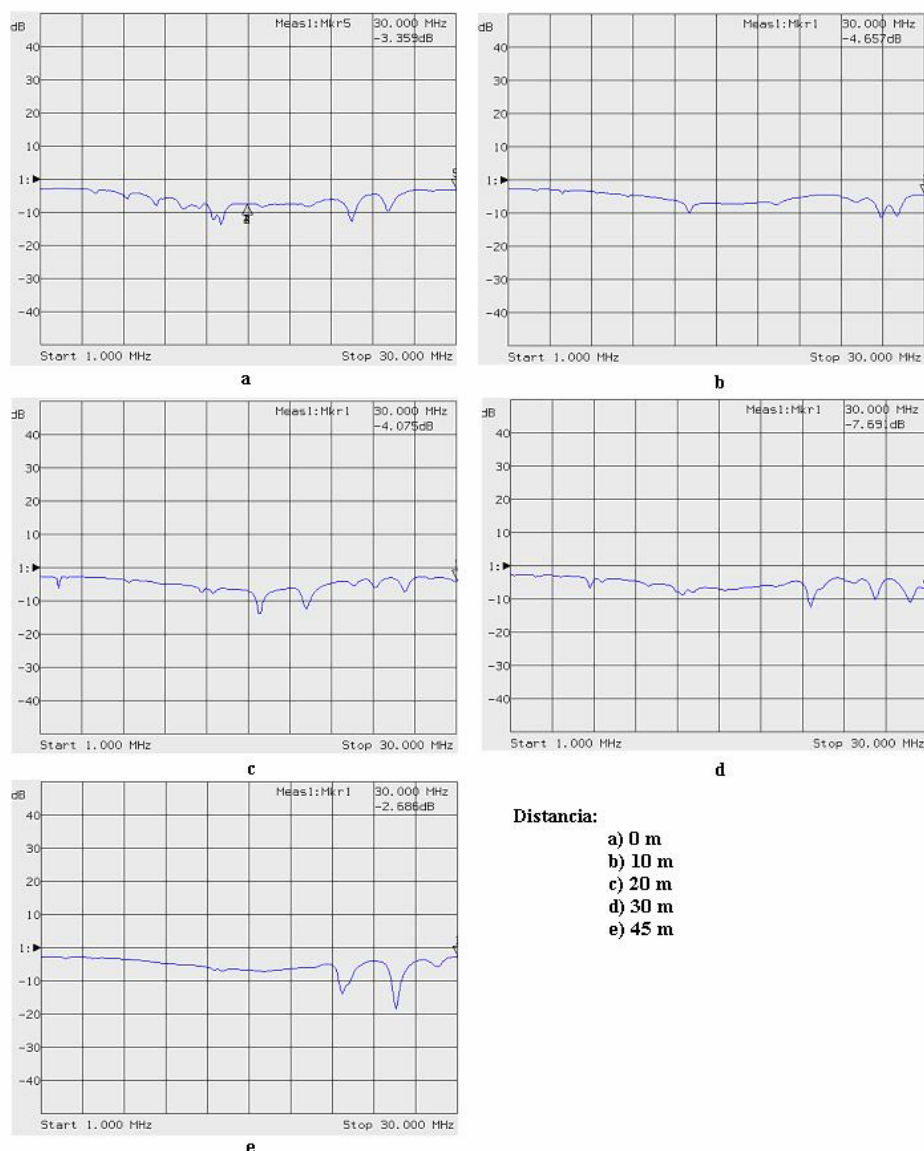
- III. Tome muestras de la red sin cargas y su respuesta en frecuencia.
- IV. Tome muestras de la red con cargas y su respuesta en frecuencia.
- V. Compare las gráficas.

Nota: Se puede realizar también mediciones en varios puntos de la red ya establecidos según distancias o puntos conocidos, aunque estas graficas no variarán mucho entre ellas, por lo cual solo basta realizar una medida.

#### 4.3.4.2 Resultados

El análisis de la respuesta en frecuencia, nos da la idea de cómo se comporta la red de suministro eléctrico a lo largo del rango de frecuencias que se ha escogido para el uso de esta tecnología.



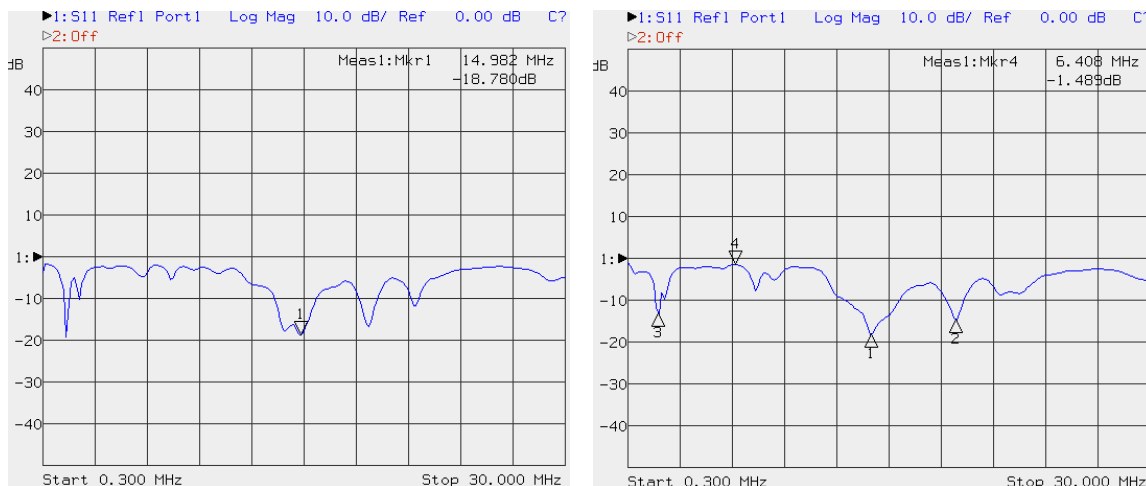


**Figura 4.26 Gráficas hechas a distintas distancias en una misma red**

En la grafica 4.26 están distintas tomas de la respuesta en frecuencia de la red teórica vista anteriormente a diferentes distancias, como se observa no hay mucha variación entre ellas siempre y cuando el tramo del circuito no sea muy extenso (entre 40 y 50 m).

Se observó que los valores de los notch's no exceden 20 dB en atenuación, estas atenuaciones no deben estar presentes en gran parte de las frecuencias de interés. De encontrarse en gran parte de las frecuencias de interés, existen problemas en el cableado y el efecto que provocan es gran supresión de portadoras y por lo tanto baja de la velocidad de transmisión.

En las graficas de la figura 4.27, podemos observar que efectivamente la respuesta varia dependiendo de las cargas conectadas, para este caso se uso las mismas cargas conectadas para la medida de impedancia.



**Figura 4.27** Respuesta en Frecuencia de la red eléctrica sin cargas (izquierda), con cargas (derecha)

Al variar las cargas y la cantidad de las mismas el efecto sobre la respuesta en frecuencia, es visible aumentando notch's, ya sea en más frecuencias o atenuando más las existentes, pero estas no caen por debajo de los 20 dB.

Como resultado se obtiene una atenuación de hasta 20 dB's a ciertas frecuencias entre 1 y 30 MHz, lo que va de acuerdo con ciertos estudios<sup>42</sup> donde mencionan que para líneas eléctricas residenciales existe atenuación de 15dB para frecuencias por debajo de 150KHz y esta aumenta con la frecuencia. Además se encuentra similitud con las graficas obtenidas de la referencia teórica.

### 4.3.5 Ruido

Dado que el ruido es un factor determinante en la caracterización de todo canal de telecomunicaciones, es necesario conocer como se comporta, las fuentes que lo generan y

<sup>42</sup> Tesis: Estudio de Factibilidad para la Implementación de una Red LAN con Tecnología "Power Line Communicatios" para la Universidad de Ambato, Vladimir Jara, ESPE, 2005

determinar el espectro que presenta y las frecuencias que afecta cada uno de sus componentes.

A diferencia con otros canales de comunicaciones, el ruido en el canal de las líneas de energía no se puede representar como un ruido blanco Gaussiano aditivo. La cantidad de las señales que interfieren son demasiadas, con respecto a la señal atenuada y a la señal distorsionada, los receptores tendrían dificultades para reproducir la información original con suficiente certeza. Varias de las señales que interfieren se generan de las cargas conectadas, debido a muchas interconexiones, diferentes tipos de conductor y, por lo tanto, tienen diferentes características. En la figura 4.28 se presentan los cuatro tipos principales de ruido, presentes en un canal de comunicación sobre una línea de energía eléctrica.<sup>43</sup>

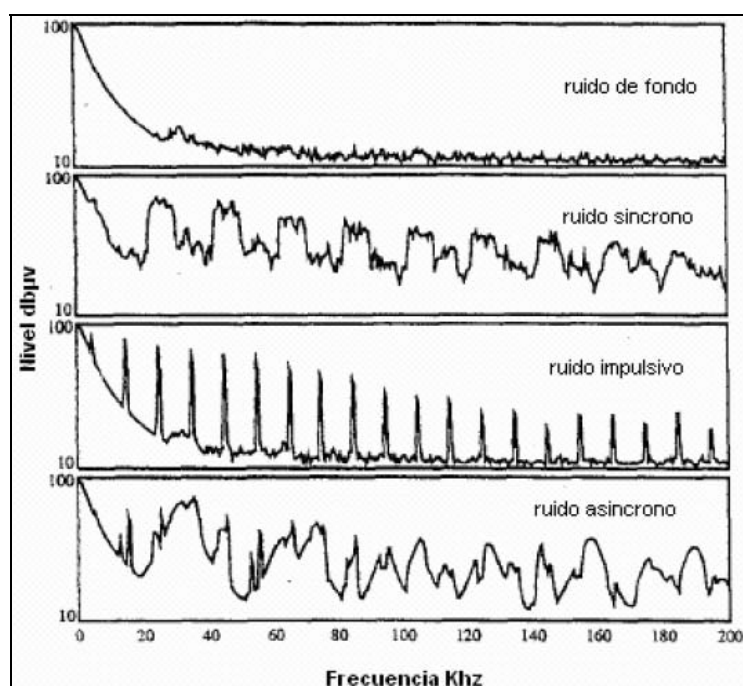


Figura 4.28 Diferentes tipos de ruido

#### 4.3.5.1 Procedimiento

Para realizar estas mediciones se utilizaron los instrumentos de medida, con las cuales se han venido trabajando a lo largo de las pruebas.

- I. Arme el siguiente esquema de conexión, en el circuito teórico referencial

<sup>43</sup> Transmisión de Datos por la Red Eléctrica (PLC) en banda angosta, Germán Berterriex, Maximiliano Bonet, 2006

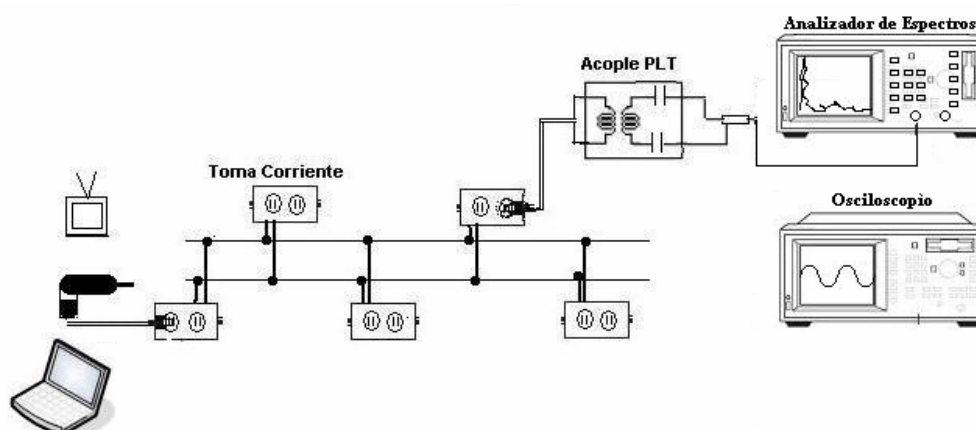


Figura 4.29 Esquema de Conexión Prueba Ruido

- II. Configure y Conecte el Analizador de Espectros al acople PLT y el otro extremo del acople a un punto de la red eléctrica sin la presencia de fuentes de ruido alguna y observe.

Nivel de referencia 0dBm, Atenuación de 10 dB, Escala 10 dB/div y logarítmica.

- III. Configure y Conecte el Osciloscopio al acople PLT y el otro a la red eléctrica y observe sus características en función del tiempo, sin fuentes de ruido.

Escala 5V/div, y ajuste el tiempo según la fuente de ruido a analizar.

- IV. Establezca el ruido de fondo y su distribución en la red eléctrica.
- V. Active las diferentes fuentes de ruido una a una, para observar sus características en tiempo y frecuencia.
- VI. Se mide la red de distribución eléctrica en funcionamiento normal.

#### 4.3.5.2 Resultados

Los resultados de obtenidos luego de las mediciones pueden ser observados en las siguientes gráficas. Las gráficas 4.30 y 4.31, tratan de analizar las redes sin la presencia de carga alguna (negro) a través del acople y la compararemos con la señal del analizador de espectros cuando no recibe ninguna señal (rojo), luego de esta gráfica veremos en función del tiempo.

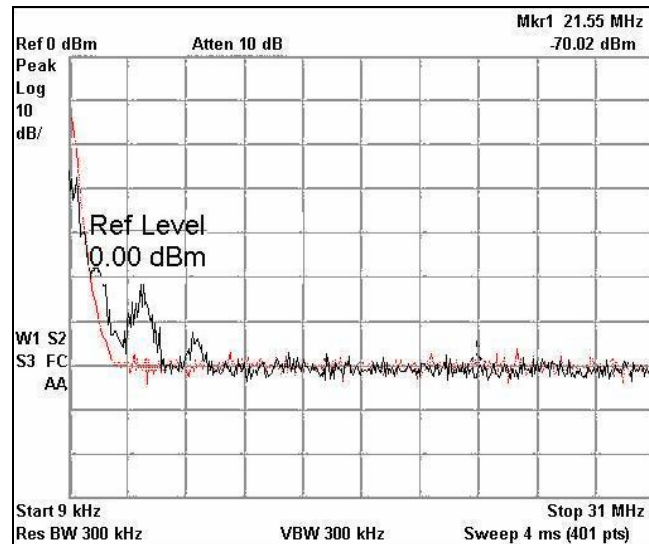


Figura 4.30 Comparación de Piso de ruido sin cargas en frecuencia

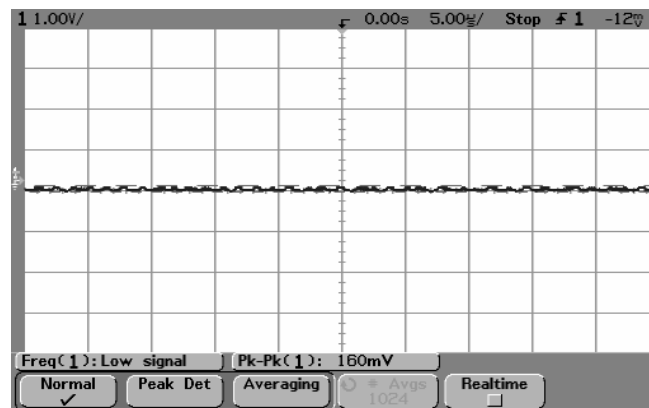


Figura 4.31 Comparación de Piso de ruido sin cargas en tiempo

En la figura 4.30 se observa que el ruido de fondo está alrededor de los  $-70\text{dBm}$  y tiene un entorno quasi-estático, también no hay que olvidar que se observa el efecto del Analizador de espectros entre 3 y 6 MHz el cual se lo va a ignorar por el momento.

Luego se procederemos a tomar las muestras tanto en función de la frecuencia como en función del tiempo de otras fuentes de ruido.

Cuando se analizó las características de una lámpara fluorescente se observó tanto en el tiempo como en la frecuencia, que al encenderse y apagarse, se produce picos debido al

switch, los picos observados fueron en 10.5 MHz y 28 MHz aproximadamente y en el tiempo producen picos alto.

Al analizar un equipo de sonido digital se encontró que no hubo variación alguna en la red eléctrica, ni siquiera durante el encendido y el apagado del mismo. Mientras al analizar un televisor análogo en el dominio de la frecuencia dentro del rango de estudio no se pudo observar nada, más en el dominio del tiempo lo podemos observa en la gráfica 4.32.

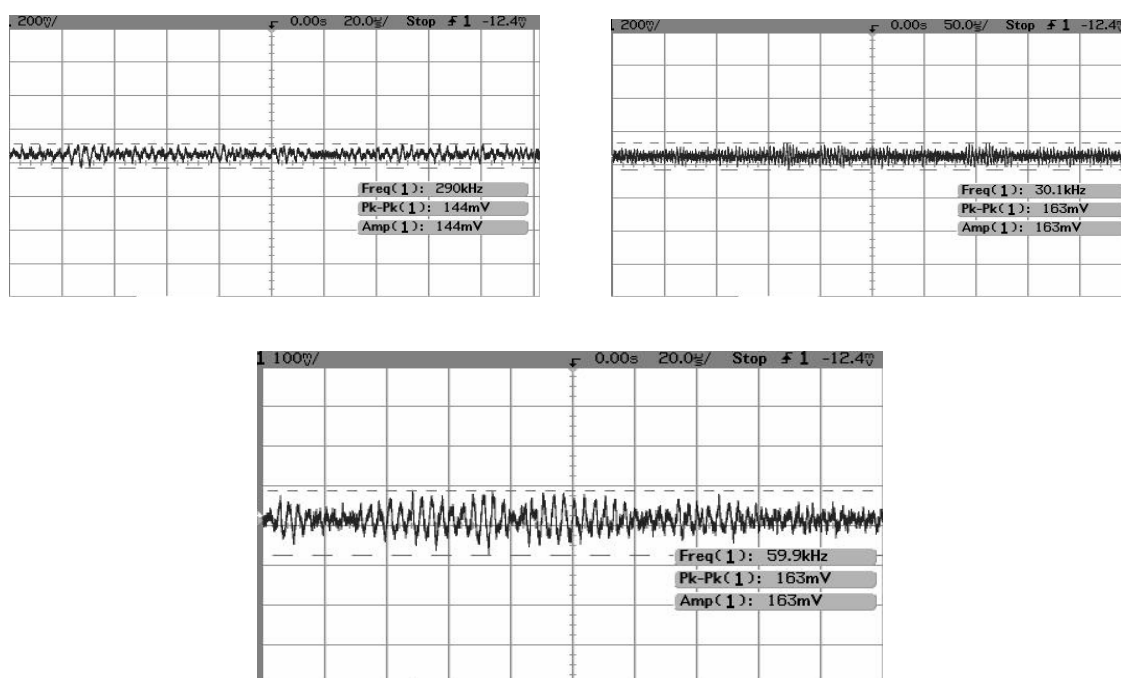


Figura 4.32 Comparación de ruido TV

Las conclusiones que podemos obtener de probar con cargas como un equipo de sonido y un televisor, son que no influyen en nuestro rango de frecuencias, ya que los efectos que puedan producir están fuera del rango (1-30 MHz).

Se analizó también el efecto de un taladro, ya que es un dispositivo muy común en las casas y edificios, y es una gran fuente de ruido dependiendo de la potencia del mismo.

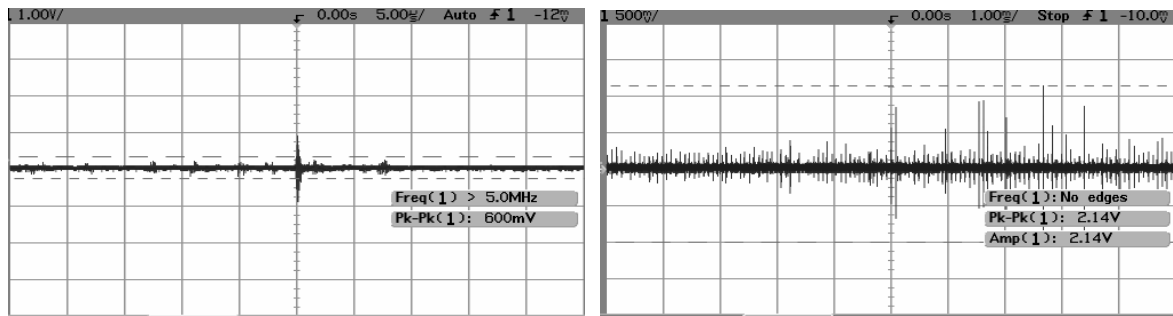


Figura 4.33 Ruido Taladro en el tiempo

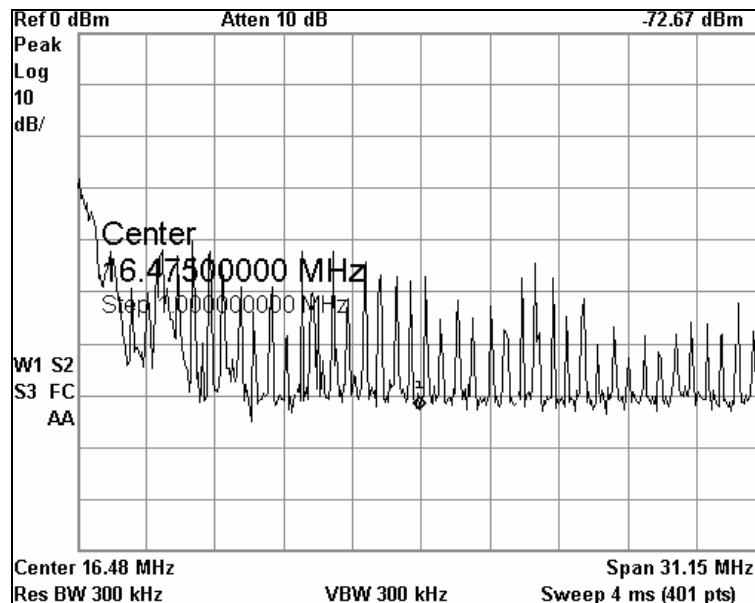
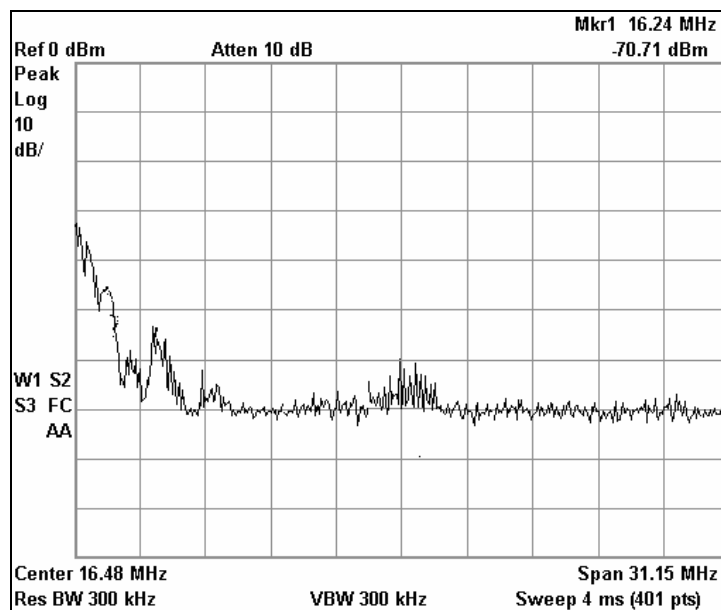


Figura 4.34 Ruido Taladro en la Frecuencia

Se observó que el ruido de un taladro por su motor es de tipo impulsivo en función de la frecuencia, y en el tiempo con picos de hasta un par de voltios, lo que nos indica que debemos tener cuidado con el uso de este tipo de dispositivos. Incluso se hizo medidas del ruido producido a 5, 15, 20 m, constatando que el ruido de carácter impulsivo aún se mantenía y se atenuaba poco según la distancia.

Luego se analizó las características de una pantalla de un computador conectada sola. Se observó que la mayor interferencia es causada durante aproximadamente los seis segundos después del encendido.



**Figura 4.35 Ruido producido por Monitor en la Frecuencia**

Dicho ruido causado por el monitor esta alrededor de los 15MHz, y es por corto tiempo.

Al analizar el ruido producido por un computador, el cual es de los principales dispositivos que se encuentran cuando se habla de transmitir datos, se obtuvieron las siguientes gráficas:

Para una mejor comparación y visualización del efecto de un computador se tomaron muestras con un computador conectado y sin encender, graficas 4.36 y 4.37. Y luego se hizo con un computador conectado y encendido figuras 4.38.y 4.39. Las tomas fueron hechas en el mismo punto de alimentación del computador.



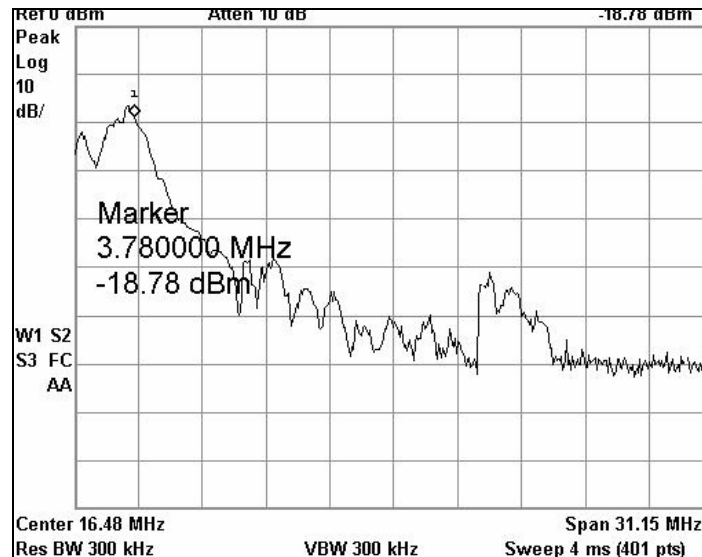


Figura 4.36 Ruido producido por Computador sin encender en la Frecuencia

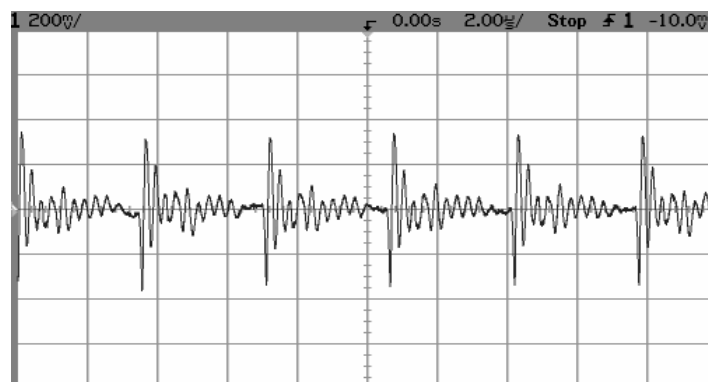


Figura 4.37 Ruido producido por Computador sin encender en el Tiempo

Como se observa en la figura 4.36 si comparamos con la figura 4.30 donde se grafica el piso del ruido se ve que aumenta notablemente ocupando el espectro desde 1Mhz hasta mas o menos 22.5 MHz, llegando incluso en el caso de 3.78 Mhz hasta un nivel de  $-18.78$  dBm.

Luego al hacer la toma de las muestras con el computador encendido se vio que el ruido asíncrono causado por el mismo aumenta más aún, como se puede apreciar en las gráficas.



Figura 4.38 Ruido producido por Computador en la Frecuencia

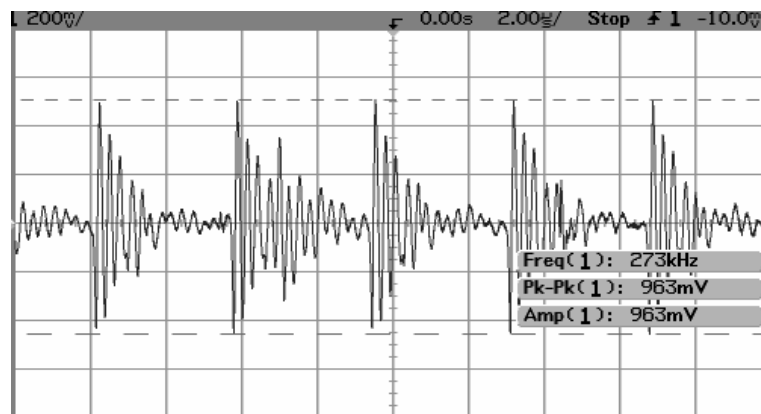


Figura 4.39 Ruido producido por Computador en el Tiempo

La gráfica 4.38 corresponde a una medición hecha con el analizador de espectros en una oficina, durante un día normal donde se encontraban conectados y encendidos computadores, impresoras, teléfonos y un televisor; lo hemos comparado con la muestra tomada del analizador de espectros sin conexión (rojo), en un punto distinto al de las fuentes de ruido.

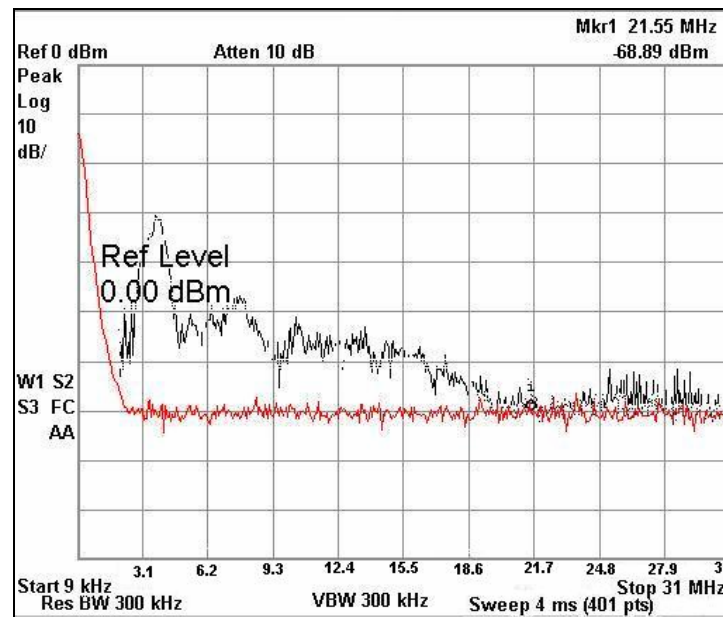


Figura 4.40 Comparación de Muestra con Piso de ruido

Ya con conocimiento de las fuentes de ruido se puede apreciar que efectivamente se logra reconocer la presencia del ruido causado por los computadores así como la presencia de otra clase de ruido proveniente de las otras fuentes alrededor de los 24.7 a 30 Mhz.

Para finalizar este punto se menciona que no se han graficado ruidos producidos por otros elementos muy comunes en las edificaciones debido a que están por debajo del espectro de estudio, así por ejemplo dimmers que producen largos impulsos entre 20-30 V, pudiendo llegar hasta 150Khz en frecuencia; intercomunicadores eléctricos con pulsos de 3-7 V<sub>PP</sub> y en frecuencias entre 150-500KHz. Los cuales no interferirían con la transmisión de datos con tecnología PLT/PLC debido a q trabajan en frecuencias muy separadas.

#### 4.3.6 Distorsión Armónica

La distorsión armónica es un parámetro técnico utilizado para definir la señal que sale de un sistema. La distorsión armónica se produce cuando la señal de salida de un sistema no equivale a la señal que entró en él. Esta falta de linealidad afecta a la forma de la onda, porque el equipo o medio ha introducido armónicos que no estaban en la señal de entrada. En todo sistema de telecomunicaciones, siempre se produce una pequeña distorsión, pues no hay equipo que procese la señal sin introducirle alguna modificación.

La distorsión armónica total nunca debe estar por encima del 1%. De estarlo, en lugar de enriquecer la señal, la distorsión empieza a desvirtuarla y el sonido o señal resultante empieza a dejar de parecerse al original.

La distorsión armónica se evalúa al comparar los valores de los armónicos con la potencia total de la señal. La distorsión armónica total THD se define por la fórmula

$$\%THD = \frac{\sqrt{H_2^2 + H_3^2 + \dots + H_N^2}}{\sqrt{H_1^2 + H_2^2 + H_3^2 + \dots + H_N^2}} \times 100 \quad (4.4)$$

En la práctica porcentajes de distorsión superiores al 5% son inaceptables en dispositivos de comunicaciones y valores inferiores al 2% se asocian a dispositivos de calidad.

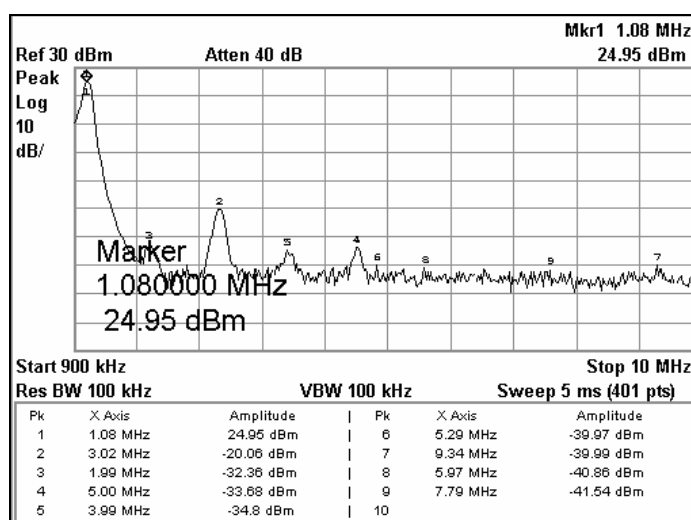


Figura 4.41 Ejemplo de pantalla de Datos para THD

#### 4.3.6.1 Procedimiento

Para realizar estas mediciones se utilizaron los siguientes instrumentos, un osciloscopio, analizador de espectros y los acoples PLC/PLT con las que se ha venido trabajando a lo largo de las pruebas. Para simplificar esta prueba se uso la característica del analizador de espectros para medir THD en lugar de usar la fórmula.

- I. Arme el siguiente esquema de conexión, en el circuito teórico referencial

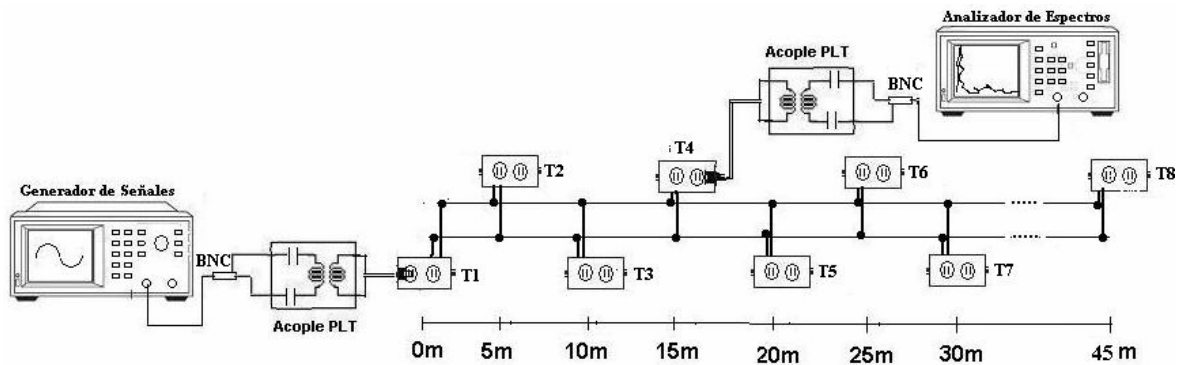


Figura 4.42 Esquema prueba THD

II. Configure y Conecte el Analizador de Espectros al acople PLT y el otro extremo del acople a un punto de la red eléctrica.

Nivel de referencia 0dBm, Atenuación de 10 dB, Escala 10 dB/div y logarítmica

III. Configure y Conecte el Generador de Señales al otro acople PLT y en otro punto de la red.

Señal 10 V<sub>PP</sub> (23.98dBm)

Onda Seno

IV. Utilice la herramienta “Distorsión Armónica” del analizador de espectros, y obtenga los datos de THD según la frecuencia de la red.

V. Realice el mismo procedimiento pero solo con el efecto de los acoples.

VI. Grafique los datos y Obtenga la grafica THD vs Distancia.

Nota: Los dispositivos que poseen la opción para medir THD entregan el valor ya en porcentaje, en caso de poseer los valores de potencia de la señal fundamental y las portadoras se puede usar la fórmula 4.4 como se había mencionado anteriormente.

#### 4.3.6.2 Resultados

Como parte de los resultados se observa en la gráfica 4.43 el efecto de los acoples en las señales generadas con el osciloscopio y su variación según la frecuencia, viendo que para señales a frecuencias bajas como la de 1 MHz sufre mayor distorsión.

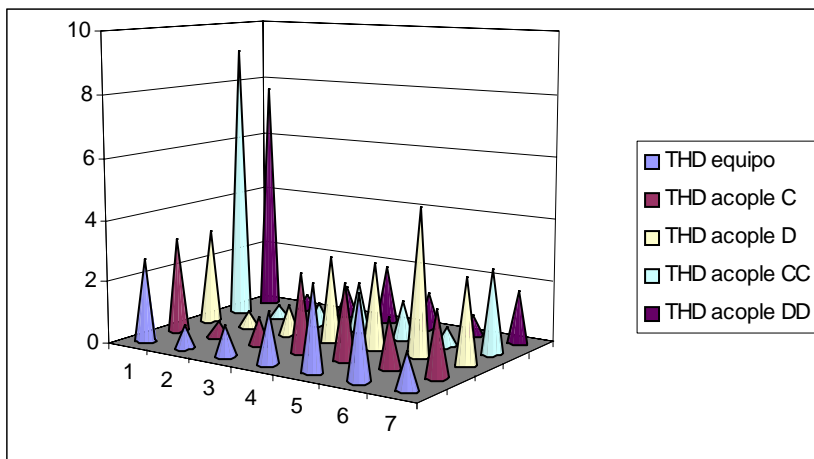


Figura 4.43 Comparación de THD de las frecuencias mencionadas

La gráfica 4.44 es una comparación solo del efecto de los acoples, para ciertas frecuencias dentro del rango de análisis (1, 5, 10, 15, 20, 25, 30 MHz), con la señal original.

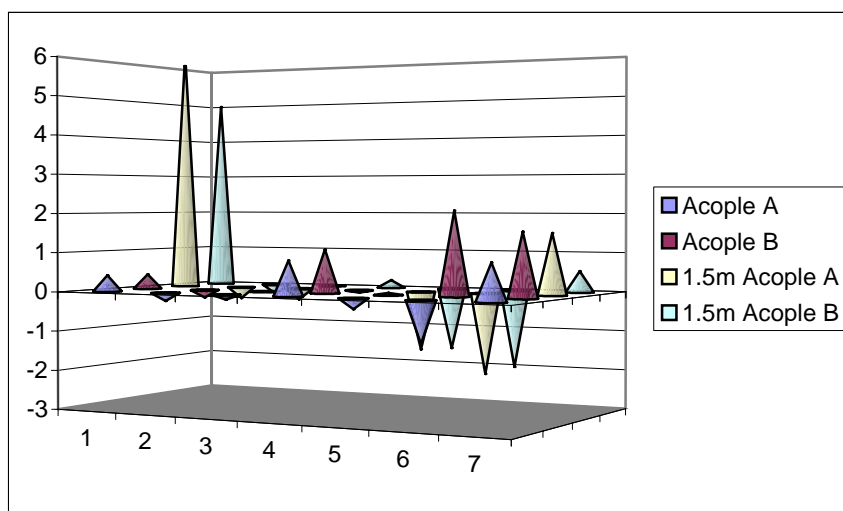


Figura 4.44 Comparación de THD con la señal original

Como se observa al hacer una comparación entre los porcentajes de THD entre la original y las encontradas a la salida de los acoples, observamos que solo en el caso de aumentar la distancia la más afectada es la señal de 1Mhz, mientras las otras se encuentran dentro del rango de funcionamiento óptimo. Esto también se observó al realizar las pruebas aumentando las distancias donde hay frecuencias que son afectadas más que otras como ya se había mencionado la señal a 1Mhz por ejemplo.

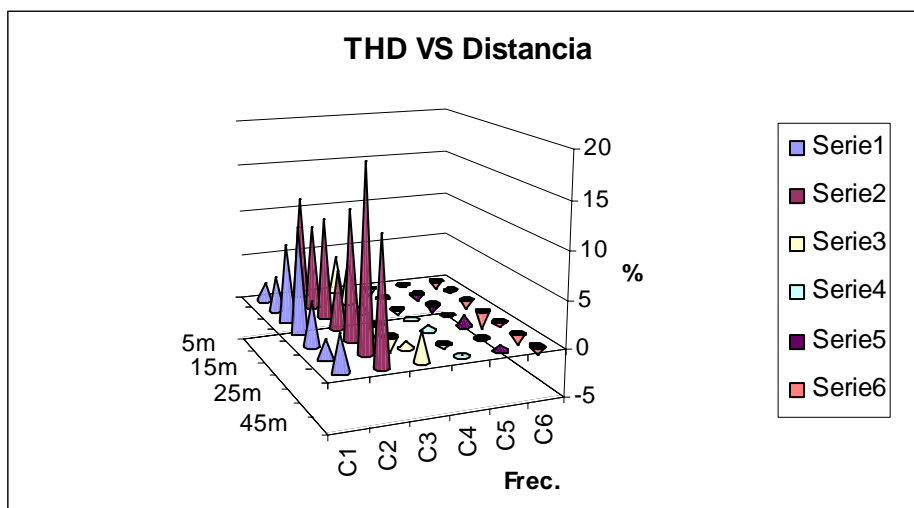


Figura 4.45 Comparación de THD según la distancia

En la figura 4.45 se observa la variación de la respuesta de THD según la distancia, en esta gráfica se omite el efecto de una señal a 1MHz puesto que produce altos valores de THD, además en esta grafica se puede apreciar que en la mayoría de frecuencias (15, 20, 25, 30 MHz) y según su distancia, posee una buena respuesta THD por debajo del 5% máximo para comunicaciones, incluso hasta por debajo del 2% para indicar una buena calidad.

### 4.3.7 Pruebas con dispositivos PLT

Para realizar las pruebas con los dispositivos PLT es necesario saber como se comportan en función del tiempo y la frecuencia, para poder comparar con los resultados anteriores y obtener conclusiones precisas.

#### 4.3.7.1 Procedimiento.

- I. Arme el esquema de conexión de la figura 4.46, en el circuito teórico referencial
- II. Con un osciloscopio y los dispositivos PLC/PLT, se realiza una visualización de su comportamiento en el tiempo así como su forma de onda.
- III. Con un analizador de espectros y los dispositivo PLC/PLT, se realiza una medida del contenido espectral.
- IV. Se observa y compara resultados con las posibles fuentes de ruido anteriormente vistas.

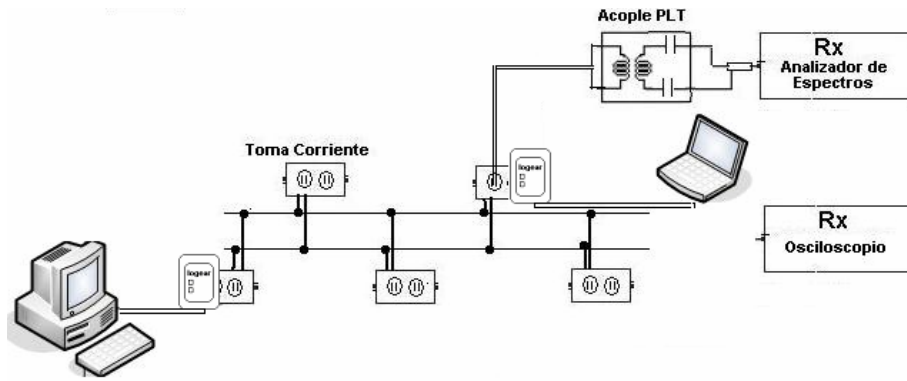


Figura 4.46 Esquema Prueba con dispositivos PLT

### 4.3.7.2 Resultados

Luego de hacer las pruebas y tomar la respuesta en el tiempo y frecuencia observamos graficas interesantes, se puede observar la forma de modulación y el nivel de potencia en lo que respecta a frecuencia.

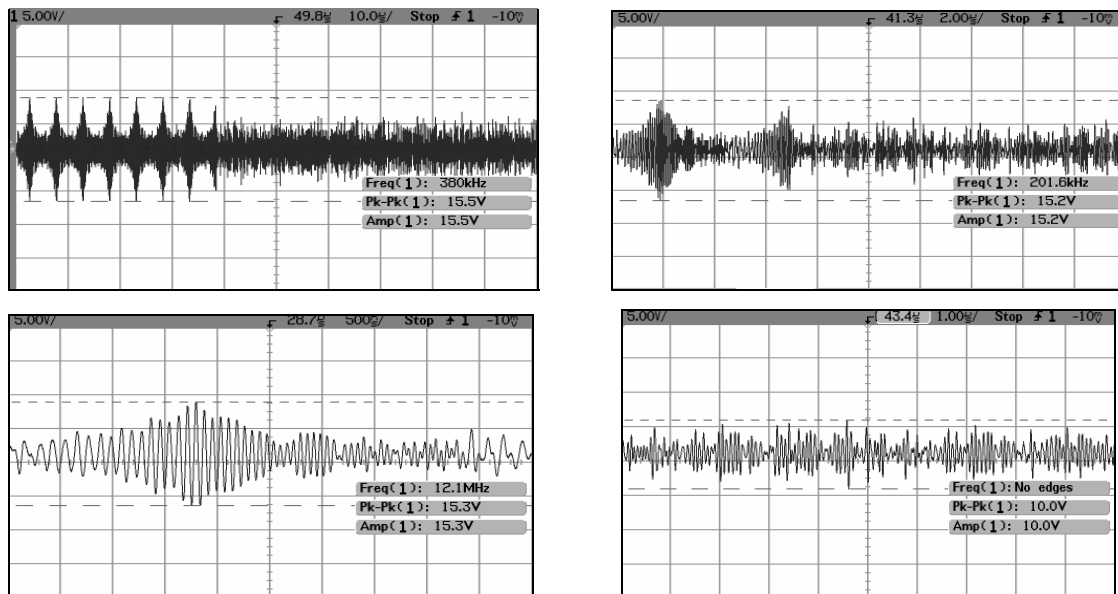
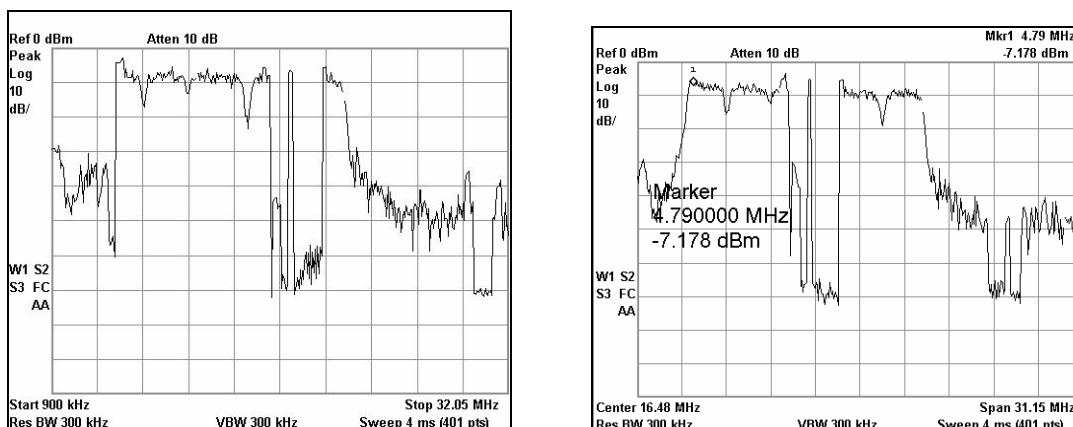


Figura 4.47 Respuesta en el Tiempo del Dispositivo PLT

Como se observa en la figura 4.47 los dispositivos se comunican y transmiten con señales moduladas y en el orden de 10-15 V.





**Figura 4.48 Respuesta en Frecuencia de los Dispositivos PLT**

En la figura 4.48 se puede observar que la señal PLT se encuentra muy por encima del piso ruido y de la mayoría de fuentes de ruido analizadas anteriormente. Es decir se encuentra a unos niveles de potencia entre -6dBm y -7dBm, cabe recalcar que este tipo de dispositivos son adaptativos, es decir se adaptan a las circunstancias del canal escogiendo las frecuencias menos propensas para transmitir, y usando amplificación de las señales recibidas.

### 4.3.8 Verificación Red LAN

Se puede plantear una forma de prueba muy sencilla para identificar y verificar que la red eléctrica deseada cumpla los requerimientos básicos para funcionamiento, pero si bien es cierto esta prueba con los equipos nos puede indicar ya una conexión para transmitir datos no nos garantiza el correcto funcionamiento de la red en todo momento y en todo lugar. Es por eso que es necesario también realizar una caracterización previa de la red con las pruebas mostradas anteriormente para garantizar un 100% de funcionamiento de la red y con el ancho de banda deseado.

#### 4.3.8.1 Procedimiento.

Para realizar esta prueba con los dispositivos PLT primero debemos configurar una red con dos computadores y los dispositivos, con ayuda del software y hardware de los dispositivos se puede apreciar y concluir mejor.

- I. Se configura una red entre los computadores, asignándoles direcciones IP.
- II. Se prueba conexión entre los mismo usando las líneas de distribución eléctrica, una buena forma es con PINGs consecutivos.
- III. Se Prueba servicios de red como compartir archivos e impresoras.
- IV. De ser necesario se configura compartir recursos de Internet.
- V. Por medio del software y hardware de los dispositivo PLT comprobamos conexiones, velocidad y disponibilidad de los puntos, en todas las tomas eléctricas deseadas.

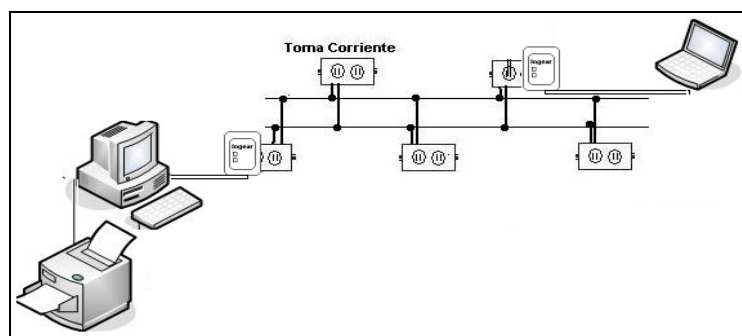


Figura 4.49 Esquema de Pruebas con dispositivos PLT comerciales

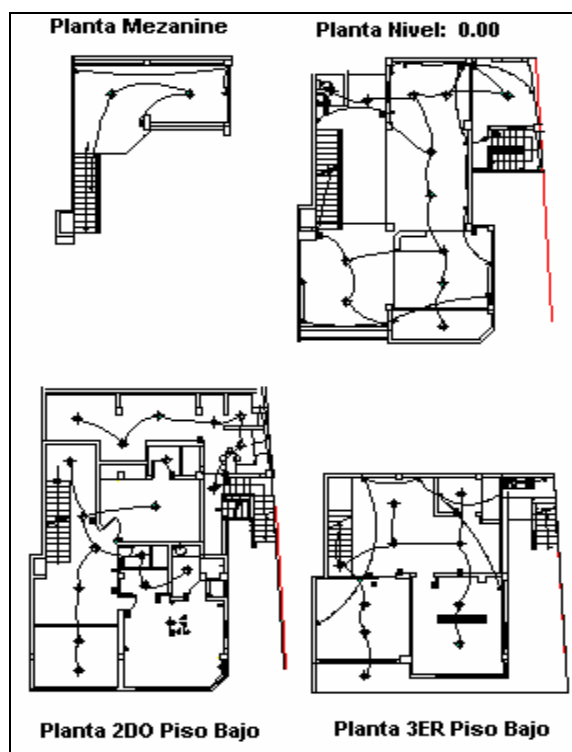


Figura 4.50 Plano Instalaciones CITIC

### 4.3.8.2 Resultados

Para validar las características de la prueba, la misma fue realizada en las instalaciones de CITIC. Luego de seguir el procedimiento indicado en los pasos de arriba, un dispositivo PLT fue colocado en un tomacorriente conectado al servidor el cual se encuentra en el Mezanine, se realiza las primeras observaciones, y analizando el punto más cercano a la computadora servidor se comprueba conexión con otra computadora mediante hardware usando los dispositivos PLT que al conectarlo primero verifica que se encuentre en la misma red mediante el led indicador POWERLINE que se enciende una vez encuentra otro dispositivo en la red, luego usando una herramienta de software hacemos Ping's, consecutivos para confirmar conexión, lo cual es ratificado al encenderse el led de LINK de los dispositivos PLT, posteriormente utilizando paquetes de distintos tamaños para simular sobrecarga de la red observamos y analizamos su comportamiento, se observa que los tiempos son bastante bajos, incluso con sobrecarga aún se mantiene la conexión, utilizando el software observamos que existe una conexión a 14Mbps, la cual es la máxima velocidad de los dispositivos, y con una calidad del link excelente.

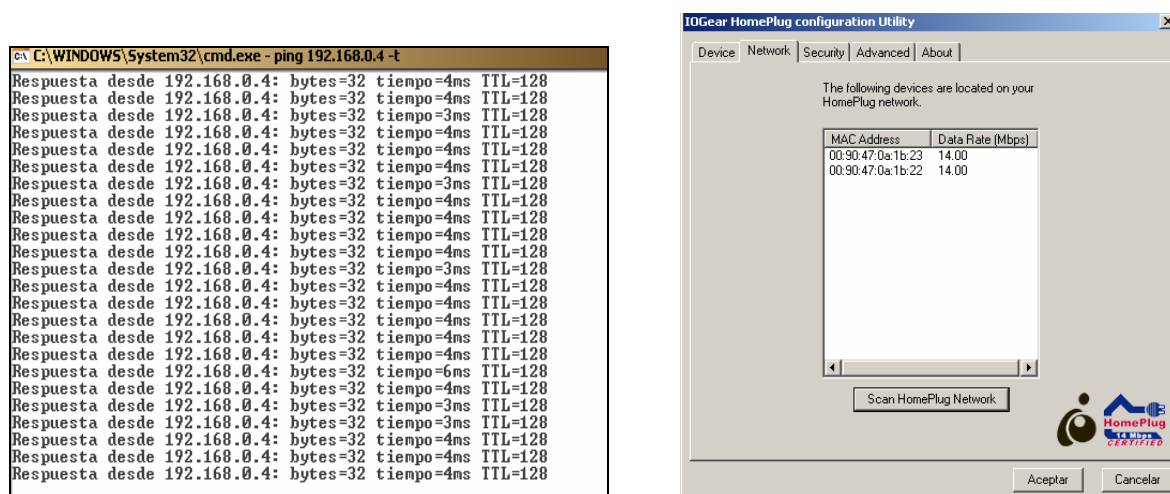


Figura 4.51 Análisis por Software

Mediante este software podemos además identificar cada dispositivo asociado a cada máquina debido a que poseen una dirección MAC para ser identificados por el software, y así sabemos a que dispositivos llegamos y con que ancho de banda.

Por último las mismas pruebas se siguen realizando movilizándonos hacia cada punto o tomacorriente a verificar con el fin de realizar un estudio preliminar de la funcionalidad de la red asociado al ancho de banda para la conexión.

**Tabla 4.1 Distribución de Cargas y AB en la edificación**

Planta	Cargas	Tomacorrientes	AB(MHz)	Área
Mezanine	3 PC´s, 2 Impresoras, 2 Focos, 2 lámparas	4	14.13.5	Oficinas
Planta Nivel 0	1 PC, Proyector, 12 focos, 2 lámparas, Radio	13	14-13	Recepción
Planta 2do P. B	TV, 20 focos, Refrigeradora, aspiradora, etc	16	12.5-13	Cuartos, Cocina
Planta 3er P.B	Radio, 10 Focos, lavadora	6	12.5-11.5	Dormitorios

En la tabla 4.1 se puede observar los diferentes tipos de cargas, la cantidad de puntos de conexión y el ancho de banda aproximado que se encuentra por cada planta, aunque este puede variar pero siempre por encima de 11 Mbps..

Además se realizaron otras pruebas de carácter subjetivo como, visualización en el envío de datos tiempo de demora, streaming de audio y video. Con el fin de observar pérdida de calidad, datos o demora, ya que estos son muy sensibles a la latencia.

De pruebas realizadas en otras edificaciones se observó que la ayuda por hardware se complementa con la de software, ya que los Led´s indicadores pueden encenderse e indicar una conexión estable, pero al analizar mediante software se encontró que pueden existir tiempos muy altos y pérdidas de paquetes. Además se debe tener en cuenta que los equipos se encuentren conectados a la misma fase, y si se dispone de un plano eléctrico mejor<sup>44</sup>.

#### 4.4 Conclusiones de las Pruebas

De las pruebas realizadas y sus resultados se pudo concluir que:

Se comprobó que la atenuación es una característica intrínseca del medio en este caso la red de suministro eléctrico, lo que va limitar la correcta transmisión de la señal, debido a que la atenuación es variable, dependiendo de la frecuencia de la portadora, la línea eléctrica se comportará como un buen o mal medio de transmisión, es por esto y basado en

<sup>44</sup> Información obtenida de la Inspección Realizada en el Edificio Administrativo del Comisariato de la Policía Nacional, realizada por CITIC, para la implementación de una red de LAN usando la Línea Eléctrica.

las pruebas de laboratorio se recomienda que el valor máximo de atenuación hasta 45 m sea de 30dB para casi todas las frecuencias portadoras (las frecuencias bajas son las excepciones), en caso de ser mayor se irá perdiendo la señal y la información ya que los dispositivos PLT/PLC no podrán interpretar la misma. Los posibles problemas que la línea eléctrica puede presentar para provocar mayor atenuación son fugas de potencia debido a gran concentración de cargas, cables pelados, cables viejos, malas conexiones entre alambres o fugas por tierra de estar haciendo contacto con puntos conectados a tierra.

Al observar la respuesta en frecuencia, se puede ver como algunas frecuencias van a estar altamente atenuadas por las características mismas del cableado, mientras otras prácticamente no o lo que es lo mismo que frecuencias pueden causar problemas y cuales no. Entonces esta prueba ayuda a asegurar que la solución ideal aplicada a este problema se cumpla, que es adaptar la señal a la función de transferencia que se tuviera en cada momento, fijando un umbral para el cual se asegure la correcta transmisión de la señal, de tal manera que si la atenuación en los puntos fuera muy alta se suprima dicha frecuencia.

Para este caso de estudio al analizar la función de transferencia de la línea eléctrica efectivamente se visualiza la variación la cual cambia según la cantidad de cargas, pero posee un umbral de atenuación en los notch's no mayor a 20 dBs, en caso de encontrar durante toda la respuesta de frecuencia gran cantidad de notch's cerca de 20 dBs o mayores obtenemos una idea clara de que el cableado presenta algún problema y no sería apto para transmitir datos ya que se tendría que suprimir muchas frecuencias portadoras, lo cual produce una baja en la velocidad de transmisión. Se debe mencionar también que no es necesario hacer una medición en cada punto a analizar, debido a que la respuesta en frecuencia casi no cambia para tramos cortos como los de las instalaciones de casas y oficinas a la caja de breakers (entre 40m y 50m).

El análisis de impedancia es otro factor importante que se incluye en el laboratorio, debido a que es un parámetro que representa la impedancia en cualquier punto de la línea cuando esta se considera lo suficientemente larga, pero debido a los diferentes tramos de cables usados, separación entre ellos, entre otras cosas, no se puede hablar de un valor de impedancia sino de un rango de valores. Lo que se pretende con el conocimiento de la impedancia es tratar de acoplar lo mejor posible las impedancias de la fuente de la señal y del canal de comunicaciones para lograr una transmisión con máxima eficiencia, esto

posibilita un mayor alcance de la señal. Si bien es cierto para que exista una eficiencia máxima, la impedancia del transmisor y del canal deben ser iguales, esto no se da, en el caso del canal PLT/PLC y según los resultados de las pruebas se recomienda que la línea eléctrica posea un rango de impedancias entre (10-100  $\Omega$ ) para la mayor parte del rango de frecuencias de interés, ya que los dispositivos PLT poseen una impedancia entre 50 y 70  $\Omega$ ; en el caso de que la impedancia sea mayor o menor del rango indicado anteriormente, en gran parte del rango de frecuencias produciría un desacople en la señal y por lo tanto baja potencia de transmisión de la señal a través del cableado eléctrico.

La prueba de distorsión armónica nos indica un parámetro técnico utilizado para definir la señal de salida de un sistema, la cual debe ser igual a la señal de entrada en lo que fuera posible medida en porcentaje. Todo sistema de telecomunicaciones produce una pequeña distorsión. En la práctica porcentajes por encima al 5% son inaceptables para telecomunicaciones, mientras valores bajo el 2% indican buena calidad. De las pruebas realizadas encontramos que el rango espectral entre 13 y 30 MHz posee una mejor respuesta a la distorsión armónica. En caso de encontrarse valores superiores al 5% existirá problemas en la recepción de datos ya que la señal será muy diferente de la señal transmitida.

Una vez que se han hecho pruebas acerca de la transmisión y adaptación de las señales sobre cableado eléctrico se puede analizar otro punto importante y muy común en las líneas de transmisión eléctrica como son las fuentes generadoras de ruido. Dentro de este análisis se concluyó que las fuentes de ruido más agresivas son los motores (taladros, licuadoras, elevadores, aparatos de aire acondicionado, etc), los mismos que entre más potencia tengan mayor será el ruido producido; también las iluminarias (focos y lámparas alógenas), en el momento de encendido y apagado. Hay que recordar que el ruido posee carácter aditivo por lo tanto la influencia de una gran concentración de fuentes de ruido puede afectar al desempeño de la transmisión.

En el caso de presentarse estos problemas se puede usar filtros que eliminen o aislen dichos ruidos, pero puede provocar que se reduzca el ancho de banda disponible y por lo tanto la velocidad. En el caso de edificaciones las cuales dispones de redes eléctricas reguladas se recomienda el uso de esta red para transmitir datos, ubicando el transmisor PLT luego del equipo regulador, con el fin de reducir posibles problemas por interferencias y debido a que estas redes reguladas son exclusivas para equipos de computación.

De las indicaciones anteriores podríamos resumir que los aspectos principales para definir o caracterizar una red eléctrica como buen medio para la transmisión de datos son:

- La atenuación máxima para frecuencias portadoras a una distancia de hasta 45 m es de 30 dBs, valores superiores indicarán problemas de cableado como cables pelados, cables viejos, malos acoples de alambre, fugaz a tierra, etc.
- La función de transferencia o respuesta en frecuencia de la red eléctrica no debe indicar gran cantidad de notch's con atenuación máxima de 20 dBs, en caso de presentarse gran cantidad de notch's y con atenuaciones superiores, indica problemas de cable y provoca gran supresión de portadoras y por lo tanto baja de velocidad de transmisión.
- Las impedancias del cableado sin cargas como con cargas deben estar dentro del rango de 10 a 100  $\Omega$  (en la mayoría del rango de frecuencias) para garantizar la mejor transferencia de la señal al canal, en caso de valores muy altos o bajos diferentes al rango dado producen desacople de la señal y por lo tanto baja transmisión de potencia al medio.
- En el caso de distorsión armónica se recomienda valores por debajo del 5% para ser aceptados y por debajo del 2% para indicar buena calidad, de lo contrario se perderá mucha fidelidad entre señales lo que provoca errores y mal interpretación.
- No se recomienda el uso de líneas eléctricas con alta concentración de motores y en especial de gran potencia, así como gran concentración de lámparas alógenas, debido a su gran interferencia por ruido y el carácter aditivo del mismo, lo que produce gran interferencia en la señal de transmisión y pérdidas de información.
- Se recomienda el uso de redes eléctricas con tomas reguladas (UPS) en las edificaciones que las disponen, inyectando la señal luego del dispositivo que las regula, para garantizar buena estabilidad de la red eléctrica.

## CONCLUSIONES

El re-uso de las redes ya instaladas de cobre, en este caso debido al gran despliegue de las redes de suministro eléctrico, mayor que el telefónico, más las ventajas tecnológicas, hacen posible el uso de ellas para servicios de banda ancha.

EL despliegue de nuevos cables para crear redes en especial en casas y edificios, o usar ADSL o Cable módem puede ser caro y poco estético dependiendo de ciertos factores. Con el uso de la tecnología PLT/PLC, los cables ya existentes en las edificaciones pueden ser usados como red, convirtiéndolos y permitiéndolos ser una red con cada tomacorriente como punto de red para Internet y otros servicios de red.

La tecnología PLT/PLC además puede trabajar de forma híbrida con otras tecnologías, para solucionar problemas de accesibilidad, interferencia o zonas muertas (en el caso de redes inalámbricas), o simplemente como una forma de acceso al usuario aumentando la cobertura.

La tecnología PLT/PLC es un sistema que utiliza técnicas de modulación digital de banda ancha, cuyas portadoras trabajan en las bandas entre 1MHz y 30 MHz, con las cuales proporcionan conectividad a altas velocidades, y no afectan a otros sistemas de comunicaciones modernos.

No todas las redes de distribución de energía eléctrica son iguales, es por esto que hay caracterizarlas, el objetivo de este trabajo es dar una idea de cómo hacerlo y que se tome como referencia los resultados aquí obtenidos. Cabe mencionar que si bien las



pruebas se realizaron para una red in-home, las mismas se pueden extender para ser usadas en medio y bajo voltaje.

A través del uso de los acoples PLT contruidos con transformadores de acople encapsulados hechos para esta aplicación, se puede utilizar los dispositivos digitales de medida conocidos, sin correr riesgo de que sufran daño al momento de conectarlos a la red eléctrica para hacer las mediciones necesarias.

La atenuación máxima para frecuencias portadoras a una distancia de hasta 40 m es de 30 dB, valores superiores indicarán, problemas de cableado como cables pelados, cables viejos, malos acoples de alambre, fugas a tierra, etc. En caso de gran cantidad de cargas se espera mayor atenuación.

La respuesta en frecuencia de la red eléctrica no debe indicar gran cantidad de notch's con atenuación mucho mayor a 20 dB, ya que puede provocarse gran supresión de portadoras y por lo tanto baja de velocidad de transmisión.

Las impedancias del cableado sin cargas como con cargas deben ser lo más similar posible a la impedancia de los dispositivos PLT (50-70  $\Omega$ ) para garantizar la mejor transferencia de la señal al canal.

En el caso del ruido producido por los diferentes aparatos eléctricos, los dispositivos con los que mayor cuidado se deben tener son aquellos que poseen motores, y ciertos tipos de lámparas como las alógenas, durante su encendido y apagado; sin dejar de lado la característica aditiva del ruido, por lo cual grandes concentraciones de aparatos eléctricos, pueden llegar a interferir.

Es necesario mencionar que durante las pruebas realizadas en un tendido eléctrico normal, las señales inyectadas a la red eléctrica producían interferencia en ciertos aparatos como televisores de manera visible y podían llegar a ser audibles por medio de los parlantes de las computadoras, las mismas demostraron ser reducidas considerablemente con el uso de señales moduladas básicas como PSK y FSK, las cuales mostraron mejoras

con respecto a las moduladas en amplitud que se ven afectadas por la atenuación y frecuencias selectivas. Esto nos ayuda a entender el mejor tipo de modulación escogido para la tecnología y porque se lo hizo.

Según los resultados se pueden concluir que efectivamente las redes eléctricas son aptas para transmitir a frecuencias entre 1-30 MHz, teniendo en cuenta que los dispositivos deben poseer ciertos requerimientos de potencia de Transmisión y Recepción, así como análisis de canal y esquemas de modulación robustos.

Además se puede tomar como datos de referencia obtenidos de las pruebas que para que una red eléctrica sea buena para transmitir datos su atenuación debe estar como valor máximo a una distancia de hasta 45m de 30 dB (Sin excesiva concentración de cargas), las frecuencias por debajo de 5MHz sufren mayor atenuación que otras, la impedancia esta generalmente entre 10 y 100  $\Omega$  con excepciones a ciertas frecuencias donde aumenta a valores por encima de 300  $\Omega$ , el análisis de distorsión armónica en la red debe arrojar valores menores al 5% para que sean aptos y de 2% para que sean excelentes, en todas estas medidas se debe tomar el efecto de los acoples PLT/PLC, ya incluidos pero que es de 10 dB máximo.

## RECOMENDACIONES

El desarrollo Normativo y legislativo con el apoyo de los entes reguladores nacionales e internacionales, son importantes para que esta tecnología se consolide, para lograr alcanzar economías de escala, reduciendo costes y facilitando inversiones de los interesados.

Hay que tomar en cuenta que a diferencia de otros canales de comunicaciones, las líneas eléctricas no presentan ruido Gaussiano aditivo (AWGN), más la cantidad de interferencias y ruido es más complicado ya que no solo existen ruido coloreado, sino interferencias de banda angosta y diferentes disturbios de carácter impulsivos presenten durante todo el tiempo indistintamente.

Hay que caracterizar el acople PLT muy bien primero antes de realizar las pruebas con el fin de proteger los dispositivos digitales de medida a ser utilizados.

Se recomienda tomar en cuenta las posibles opciones que se dan en este texto en caso de no disponer de alguno de los dispositivos digitales para realizar las pruebas.

No hay que olvidar que en todas las pruebas se encuentra incluido el efecto del acople PLT, que si bien no afecta mucho se lo debe tomar en cuenta al momento de la caracterización.

Los factores que se deben tener más en cuenta son la atenuación debido a la distancia, la respuesta en frecuencia y las cargas en la red eléctrica.

La respuesta en frecuencia de la red eléctrica no debe indicar gran cantidad de notch's con atenuación máxima de 20 dB, en caso de presentarse gran cantidad de notch's y con atenuaciones superiores, indica problemas de cable y provoca gran supresión de portadoras y por lo tanto baja de velocidad de transmisión.

Las impedancias del cableado sin cargas como con cargas se recomienda que estén dentro del rango de 10 a 100  $\Omega$  (en la mayoría del rango de frecuencias) para garantizar la mejor transferencia de la señal al canal, en caso de valores muy altos o bajos diferentes al rango dado producen desacople de la señal y por lo tanto baja transmisión de potencia al medio.

En el caso de distorsión armónica se recomienda valores por debajo del 5% para ser aceptados y por debajo del 2% para indicar buena calidad, de lo contrario se perderá mucha fidelidad entre señales lo que provoca errores y mal interpretación.

No se recomienda el uso de líneas eléctricas con alta concentración de motores y en especial de gran potencia, así como gran concentración de lámparas halógenas, debido a su gran interferencia por ruido y el carácter aditivo del mismo, lo que produce gran interferencia en la señal de transmisión y pérdidas de información.

Se recomienda el uso de redes eléctricas reguladas en las edificaciones que las disponen, inyectando la señal luego del dispositivo que las regula, para garantizar buena estabilidad de la red eléctrica y mejor desempeño.

PLT/PLC es una solución inmediata y barata para PYMES's y SOHO's, así como para aquellos usuarios a los que otras tecnologías de acceso no han llegado por motivos de rentabilidad económica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCATEL para Fundación AUNA, “Tecnologías y actividades de estandarización para la interconexión de Home Networks”.
- BASTIDAS, Henry, “Análisis Técnico de una red de Distribución de Potencia Eléctrica para la Transmisión de señales que llevan información de servicio de valor agregado Internet”, pag. 36, Colombia, 2005
- CEPAL, “Políticas públicas para el desarrollo de sociedades de información en América Latina y el Caribe”, Naciones Unidas, Junio del 2005
- CONATEL, “Diagnóstico de las Políticas de TIC en el Ecuador”, Abril de 2005
- CONATEL, “Plan de desarrollo del Sector de las Comunicaciones del Ecuador”, Quito, 2004
- CONELEC, “Situación del Sector Eléctrico Nacional”, 2000
- FCC, Part 15: Radio Frequency Devices, Agosto 2006.
- GÓMEZ, Jairo, “La Brecha Digital en los países de la Comunidad Andina”, Conexión Magazine.
- HANIPH A. Latchman, K. Afkhamie, “High Speed Multimedia Home Networking Over Powerline”, 2005
- JARA, Vladimir, *Estudio de Factibilidad para la Implementación de una red LAN con Tecnología “Power Line Communication” para la universidad Técnica de Ambato*, Pag. 9, 37-40, Quito, 2005.
- KIM, Charles J., “Attenuation Characteristics of High Rate Home-Networking PLC signals”, Howard University, 2000.
- LÖCHER, János, “Survey of the present-day state of the power line telecommunication, PLT technology”, Budapest University of Technology and Economics Budapest, Hungary, 2002.
- MONTROYA, Luis, “Power Line Communications Performance Overview of the Physical Layer of Available protocols”, University of Florida, 1999
- PATIÑO, Marlón, “Caracterización de una red de suministro Eléctrico de un Edificio como medio de Transmisión de Información”, Universidad Nacional de Colombia, 2006

- OPERA, [www.opera.org.com](http://www.opera.org.com), 2005
- OPERA, Report on The Progress of PLC Standardisation, Enero del 2006.
- SIEMENS Chile, Nuevo Laboratorio Siemens en INACAP, 2006
- SIMOES, Luis, GERALD, José A. B., “A communication System for Power Lines”, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal (2003).
- TOMASI, Wayne, *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*, Segunda edición, 1996.
- UPA, [www.upa.org.com](http://www.upa.org.com), 2004
- VELA NERI, Rodolfo, *Líneas de Transmisión*, pag. 42-43, 1999
- VIENES, RM, “Impedance of the Residential Power Distribution Circuit”. IEEE, pag. 6-13, 1985.
- VINES, R.M H.J Trussel, L.J Gale and J.B O’Neal, “Noise on residential power distribution circuits,” IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. EMC-27, No.1, Feb 1995.
- ZIMMERMANN, K. Dostert, “An Analisis of the Broadband Noise Scenario in Powerline Networks” Simposio Internacional PLC, Irlanda, Abril 5 – 7, 2000.

## **ANEXOS**

## **ANEXO I**

### **ANÁLISIS COMPARATIVO CON OTRAS TECNOLOGÍAS**

Es necesario hacer una comparación con el resto de tecnologías para banda ancha con el fin de poseer una mejor visión de la tecnología PLT/PLC frente a las otras. Si comparamos PLT/PLC con las otras tecnologías de acceso en nuestro país (XDSL, CATV (HFC), Wi-Fi, Wi-Max, MLDS y Fibra), todas operan casi con la misma clase de servicios y con los mismos parámetros. Por otro lado podemos ver que a excepción de CATV (HFC) y Fibra, todas las otras tecnologías usan canales hostiles (aire, línea telefónica, línea eléctrica), que no fueron diseñadas para transmitir datos.

La ventaja de PLT/PLC, es que la red de suministro eléctrico tiene un mayor despliegue que las otras, en el país alrededor de un 90%, la investigación en esta tecnología se ha centrado en puntos técnicos puntuales utilizando las mejores características probadas en otras para poder transmitir la información a través del tendido eléctrico.

Además cuando se piensa en alternativas de banda ancha exitosas, debemos tomar en cuenta esta tecnología emergente, que en poco tiempo más permitirán a las empresas de distribución de energía eléctrica proveer una nueva plataforma bastante manejable como alternativa de acceso.

#### **Tecnología XDSL**

Bajo el nombre XDSL se definen una serie de tecnologías que permiten el uso de una línea de cobre (la que conecta nuestro domicilio con la central telefónica) para transmisión de datos de alta velocidad y, a la vez, para el uso normal como línea telefónica. Se llaman XDSL, ya que los acrónimos de estas tecnologías terminan en DSL (Línea de abonado Digital): HDSL, ADSL, RADSL, VDSL. Cada una de estas tecnologías tiene distintas características en cuanto a prestaciones (velocidad de transmisión de datos) y distancia de la central (ya que el cable de cobre no resulta pensado para eso, a más distancia peores

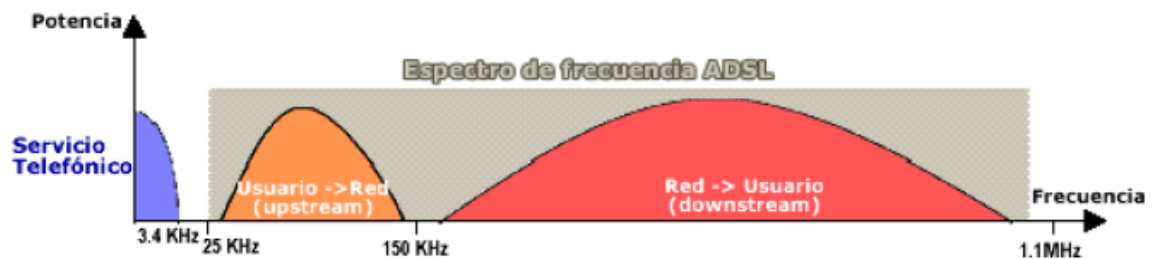


prestaciones). Entra estas tecnologías la más adecuada y la utilizada en nuestro país para uso doméstico de Internet es la denominada ADSL (Asimetric Digital Subscriber Line) <sup>45</sup>

Con ADSL es posible sobre la misma línea, hacer, recibir y mantener llamadas telefónicas simultáneamente a la transferencia de información, sin que se vean afectados ninguno de los dos servicios.

En la figura I.1 se observa como ADSL emplea los espectros de Frecuencia que no son utilizados para la transmisión de voz, los módems de voz transmiten en la banda de frecuencias para la telefonía (300Hz a 3400Hz), mientras que los módems ADSL operan en un margen de frecuencias mucho más amplio que va desde los 24KHz hasta los 1104 KHz, aproximadamente <sup>46</sup>.

Esta tecnología es asimétrica, es decir las características de transmisión no son iguales, la recepción de datos es mayor que el envío, lo cual le hace idónea para los servicios de información e Internet (Hasta 8 Mbps en sentido red-usuario y hasta 900 Kbps en sentido usuario red), ya que el usuario generalmente recibe mayor información que la que manda.



**Figura I.1 Espectro de Frecuencia ADSL**

La técnica de modulación en ADSL según el estándar ANSI T1.143, es DMT (Multitonos Discretos), los tonos a su vez son moduladas en QAM, esto demuestra inmunidad al ruido, flexibilidad en la velocidad de transmisión y facilidad de adaptarse a las características de la línea, es decir a la respuesta del canal.

<sup>45</sup> Technology Review Of Powerline Communications (PLC/PLT) Technologies And Their Use, Paul Topfer, 7 de Octubre 2003

<sup>46</sup> Tecnologías de Banda Ancha, Telemática

La tecnología ADSL es un adversaria directa para PLT/PLC, ya que esta brinda servicios a la “última milla”, es decir hasta el usuario. O bien podría trabajar a modo de complemento con PLT/PLC, para llegar hasta el usuario vía ADSL y luego repartirla por toda la casa o edificio a través de equipos PLT/PLC.

## Tecnología Wi-Fi

Dentro de los tipos de redes inalámbricas que compiten con PLC/PLT especialmente a nivel in-home, se encuentra principalmente las IEEE 208.11, conocida como Wi-Fi (Wireless Fidelity), debido a su amplia difusión en el mercado. Esta tecnología ofrece seguridad, fiabilidad, y conectividad tanto entre equipos inalámbricos como en redes con hilos (usando IEEE 802.3 o Ethernet). Estas redes operan en las bandas de 2.4 y 5 Ghz (no es necesario licencia), con velocidades de 11 Mbps (802.11b) o 54 Mbps (802.11a), ofreciendo un funcionamiento similar al de una red Ethernet.

**Tabla I.1 Comparación de Diferentes versiones IEEE 802.11**

Estándar	Descripción	Características	Disponible	Tasa de datos máxima	Proveedores
802.11	Red de datos	Optimizado para datos	Si	2 Mbps	
802.11b	LANs de alta velocidad	Alta velocidad, gran capacidad	Si	11 Mbps	Symbol, Cisco, Lucent, IBM, Intersil, Proxim
802.11a	LANs de alta velocidad	Alta velocidad, gran capacidad, coste superior	?	54 Mbps	Intersil, IBM, Sharewave, Cisco, Lucent
802.11g	Variante de alta velocidad 802.11b	Alta velocidad, gran capacidad, coste superior	En el año 2002	22 Mbps	Texas Instruments
802.11e	Variante de alta velocidad 802.11b	Alta velocidad, calidad de servicio, coste superior	En el año 2002	54 Mbps	Sharewave

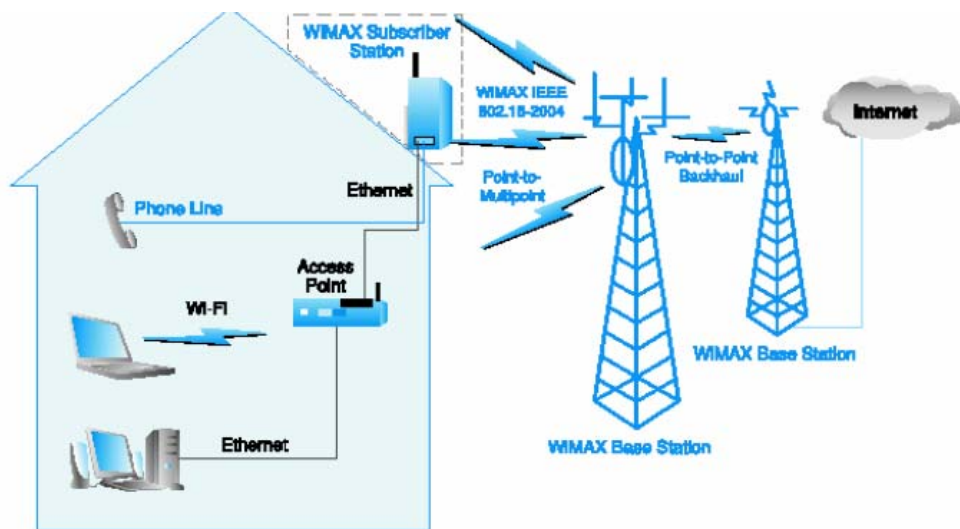
Se la utiliza en entornos donde no se puede cablear, en lugares provisionales, usuarios que se mueven constantemente, pequeñas redes en empresas y casas; se usan también para ampliar redes y como backup de las redes de cable ya existentes.

## Tecnología Wi-Max

Wi-Max, es una tecnología reciente basada en el estándar IEEE 802.16 que promete ser la tecnología que proveerá servicios de banda ancha en todo tipo de ambientes urbanos

y rurales, zonas donde los operadores pueden suministra diferentes servicios con inversiones bajas y despliegue rápido de tecnología, además el servicio puede ser prestado en bandas no licenciadas, lo que baja aún más costos de operación.

Puede alcanzar velocidades de comunicación de hasta 124 Mbps en un canal con ancho de banda de 28 MHz (en la banda de 10 a 66 Hz), mientras que la 802.16a puede llegar a los 70 Mbps, operando en un rango de frecuencias más bajo (2 a 11 GHz). Estas velocidades elevadas se consiguen gracias a utilizar modulación OFDM con 256 subportadoras, la cual puede ser implementada de diferentes formas, según cada operador, siendo la variante de OFDM empleada un factor diferenciador del servicio ofrecido. Esta técnica de modulación es la que también se emplea para TV digital, sobre cable o satélite, para Wi-Fi (802.11a) como para PLT. Soporta múltiples servicios simultáneamente ofreciendo QoS en 802.16e, por lo cual resulta adecuado para voz (VoIP), datos y video. Además el área de cubierta con esta tecnología es amplia, alrededor de 5 a 60 Km, que sería perfecta para garantizar conexión en zonas metropolitanas.



**Figura I.2 Topología Wi-Max**

Si bien es cierto que Wi-Max es otra tecnología que entra a competir con PLT/PLC, para cubrir grandes distancias, una característica de Wi-Max es que puede interactuar también con la una red PLT/PLC para extender el alcance, ya sea utilizando antenas receptoras en MT y BT o bien instaladas en casas y edificios para luego ser repartido vía PLT a todos los lugares necesarios con un ancho de banda suficiente para los servicios que se puedan ofrecer.

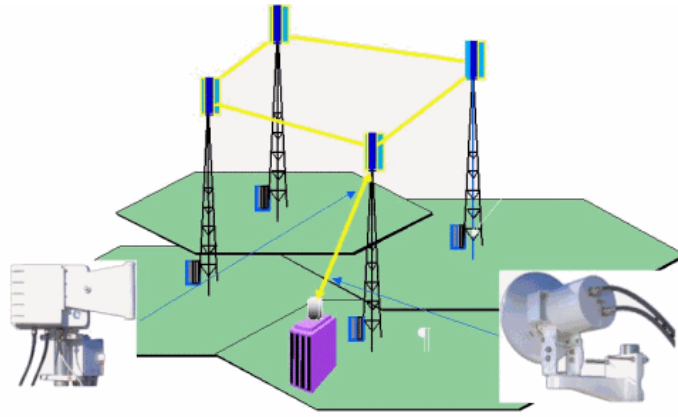
## **Tecnología LMDS**

El Sistema LMDS (Local Multipoint Distribution Service), es una tecnología para comunicaciones inalámbricas de banda ancha. Los sistemas LMDS se pueden instalar muy rápidamente, la naturaleza de su arquitectura permite una ampliación progresiva en función de las necesidades. Además la tecnología digital empleada y los anchos de banda disponibles permiten comunicaciones de alta velocidad.

La principal diferencia de los sistemas LMDS con respecto al resto de tecnologías de acceso vía radio es su margen de frecuencias de trabajo. En este caso, LMDS opera a frecuencias en torno a los 28 GHz (banda Ka). Dada la congestión espectral que existe a frecuencias más bajas, es la única forma de conseguir anchos de banda elevados. En Europa, como por ejemplo el Reino Unido utilizan la banda de 40 GHz y lo denominan MVDS (Multipoint Video Distribution System), aunque generalmente se usan bandas alrededor de los 28 GHz.

En LMDS las elevadas frecuencias utilizadas en estos sistemas limitan enormemente la cobertura como consecuencia de la atenuación introducida en el trayecto de propagación, en esto se basa para una concepción celular. De acuerdo con esta filosofía, estos sistemas utilizan estaciones base distribuidas a lo largo de la zona que se pretende cubrir, de forma que en torno a cada una de ellas se agrupa un cierto número de usuarios, generando así de una manera natural una estructura basada en células, también llamadas áreas de servicio, donde cada célula tiene un radio de aproximadamente 4 kilómetros (como promedio), pudiendo variar dentro de un intervalo en torno a los 2-7 kilómetros.

La arquitectura del sistema punto a multipunto consiste en un conjunto de estaciones base interconectadas entre si y con el centro de control de red que da servicio a una determinada densidad de abonados agrupados en el interior de celdas de radio variable. Para la alimentación de las estaciones base se puede optar por radio enlaces punto a punto o bien utilizar enlaces de fibra óptica, en el último caso se tendría un esquema híbrido fibra-radio. La arquitectura de red del sistema inalámbrico consiste en tres elementos principales: estaciones base, equipamiento de usuario y sistema de gestión de red.



**Figura I.3 Topología LDMS**

Las comunicaciones en este sistema se hacen en forma de radiodifusión desde la estación base a los usuarios (punto-multipunto), la comunicación es direccional, para enlaces descendentes (base –usuarios) se usa TDMA, en el enlace ascendente (usuario-base) se utilizan combinaciones de acceso TDMA y FDMA. Los esquemas de modulación más empleados son QPSK y QAM dependiendo de las características q se quiera.

Si bien LDMS es una tecnología de banda ancha en crecimiento aún no esta muy accesible, razón por la cual PLT/PLC sigue como una opción bastante real de acceso a banda ancha y sobrepasa en mucho el ancho de banda ofrecido por LDMS.

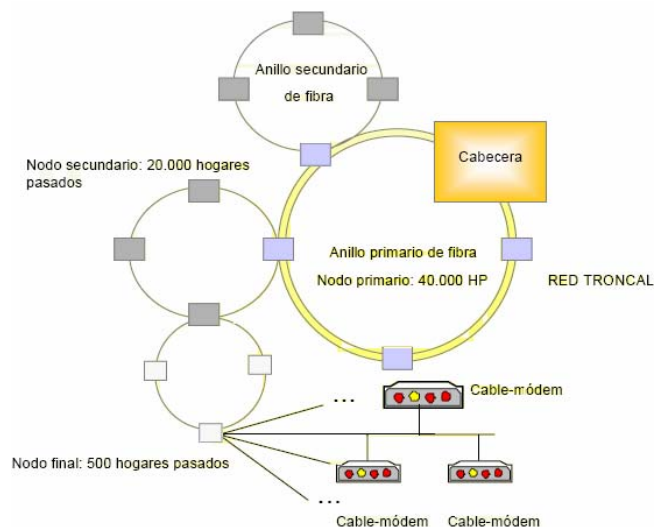
### **Fibra Óptica y HFC**

El uso de fibra óptica es otra de las grandes opciones de acceso a banda ancha. FTTH, como indica su nombre “Fibra hasta el hogar”, implica el tendido de fibra hasta el usuario. Desde el punto de vista de prestaciones, para velocidad de transmisión es la mejor opción. Sin embargo su costo es mayor que el de otras tecnologías, por lo que a pesar de varios años que se ha hablado de la posibilidad su despliegue en el mercado residencial, su utilización se limita a usuarios con grandes necesidades de capacidad (empresas grandes, centros tecnológicos, etc).

Una forma de reducir el coste de las redes de acceso con fibra es adoptar arquitecturas híbridas (FTTX o “Fibra hasta X”), donde la fibra llega hasta un punto más o

menos cercano a los usuarios (Ejem: FTTB hasta la entrada del edificio), utilizando el último tramo, muy corto, con otras tecnologías.

Las redes HFC (Híbrido de Fibra y Coaxial), es un término que define una red que incorpora tanto fibra óptica como cable coaxial para crear una red de banda ancha. Esta tecnología permite el acceso a Internet de banda ancha utilizando las redes CATV existentes. Se puede dividir la topología en dos partes. La primera consiste en conectar al abonado por medio de cable coaxial a un nodo zonal y posteriormente interconectar los nodos zonales con fibra óptica. Esta tecnología comienza a implementarse a través de operadores de CATV, que además de brindar el servicio de televisión por cable anexaron transportar por el mismo medio la señal de Internet de banda ancha.



**Figura I.4 Topología HFC**

El cable coaxial proporciona una capacidad de ancho de banda considerable, mientras que también permite que la señal se extraiga y se inserte con una mínima interferencia a cualquier cliente o equipo. Además utiliza FDM para manejar las señales y proveer los diferentes servicios. Las limitaciones de este sistema son que a veces la señal necesita ser amplificada y además es susceptible a interferencias externas.

Como hemos visto la Fibra Óptica si bien es cierto que es un medio de gran capacidad de ancho de banda aún no es posibles llevarla hasta los hogares, es por eso que se crean las redes híbridas, pero no solo fibra puede trabajar con cable coaxial como última milla sino que también con el cable de energía eléctrica utilizando PLT/PLC resultando en

una implementación más barata ya que a red ya esta desplegada y poseen un mayor alcance.

## Comparaciones

La tendencia del mundo actualmente es masificar el ancho de banda y aprovechar las redes ya desplegadas para nuevos servicios requeridos por los usuarios los cuales a su vez demandan grandes anchos de banda para su perfecto funcionamiento.

**Tabla I.2 Tecnologías de Acceso Banda Ancha<sup>47</sup>**

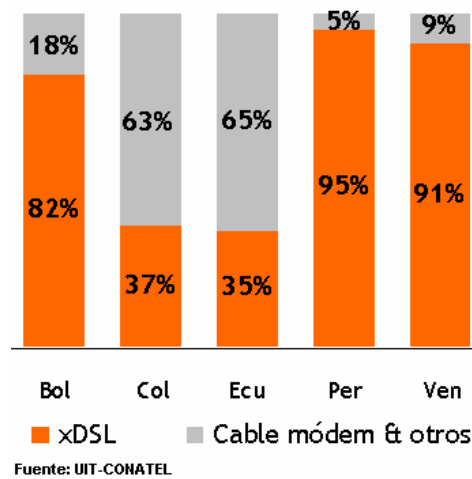
Tecnología	Desarrollo	Velocidades (Mbps)	Difusión	Costo	Complejidad
<b>Tecnologías Alámbricas:</b>					
• Bucle digital de abonado (xDSL)	Maduro	0,064 - 52	Alta	Medio Bajo	Baja
• Cable	Maduro	10 - 40	Alta	Medio Bajo	Baja
• Fibra óptica (FTTx)	Maduro	1,5 - 1000	Media	Medio	Media
• Redes híbridas de fibra y cable (HFC)	Nuevo	0,384 - 8	Alta	Medio	Media
• Comunicaciones por línea eléctrica (PLC)	Emergente	2 - 200	Baja	Medio Alto	Alta
• Ethernet en la primera milla (EFM)	Nuevo	100 - 1000	Baja Media	Medio Alto	Media
<b>Tecnologías Inalámbricas:</b>					
• Bucle inalámbrico (WiLL o Wireless Local Loop, LMDS, MVDS)	Nuevo Maduro	0,256 - 4	Media	Medio	Media
• Redes de acceso por satélite	Madura	0,064 - 20	Alta	Medio	Media
• Redes locales inalámbricas (WLAN, Wi-Fi, HiperLAN2)	Nuevo	0,064 - 54	Media	Medio	Media Alta
• WiMAX	Emergente	40	Baja	Alto	Alta
• Comunicaciones móviles de tercera generación (UMTS, 3G)	Emergente	2	Baja	Medio Alto	Alta
• Televisión digital terrestre (TDT)	Emergente	0,128 - 4	Baja	Medio	Media Alta
• Óptica por Aire (HAPs)	Experimental	2 - 120	Ninguna	Alto	Alta

Fuente: Bustillo, René A. "Banda Ancha: Situación y Propuestas para Iberoamérica".

Como hemos encontrado en nuestro entorno las tecnologías de acceso a banda ancha que predominan en nuestro país son las ADSL y la CATV (o HFC ya que generalmente son de este tipo las que se ocupan) véase figura 5.5, las mismas que permiten distribuir casi la mayoría de servicios de banda ancha, aún así en los últimos años se han desarrollado

<sup>47</sup> La Tecnología De Comunicaciones Sobre Red Eléctrica En Argentina

tecnologías que permiten superar en gran manera a las otras formas de acceso (véase tabla 5.2), si bien algunas son nuevas con tan solo unos años, otras son tecnologías emergentes, pero que de igual manera permiten acceso a grandes anchos de banda, además estas pueden trabajar de forma híbrida con otras de mayores prestaciones en cuanto a ancho de banda como lo Fibra Óptica la cual da el mejor ancho de banda.



**Figura I.5 Comparación de Tecnologías predominantes**

De las tecnologías inalámbricas consideradas, se considera que LMDS y Wi-Max ofrece el mejor balance global entre velocidad de acceso y cobertura, con capacidad para ofrecer servicios de banda ancha, pero con la excepción notable de la distribución de TV en el caso de LDMS. A pesar de sus ventajas (despliegue muy rápido, buena proporcionalidad entre inversión y demanda), estas redes han tenido un éxito reducido debido a su poca difusión en el caso de LDMS mientras que en el caso de Wi-Max los equipos comerciales aún están en prueba para garantizar el servicio descrito, al menos en sentido fijo ya que Wi-Max móvil aún no tiene proveedores debido a que el estándar aún no es dado. No obstante, el potencial de las tecnologías inalámbricas es importante, por lo que resulta necesario seguir su evolución, orientada a dar acceso global de banda ancha, con mayor capacidad y sin necesidad de visión directa.

Las redes de acceso que llegan al usuario sobre cableado existente (telefónico o eléctrico) tienen como principal ventaja su facilidad de despliegue, pero su capacidad está limitada por las características de los medios de transmisión empleados. La tecnología mejor situada para ofrecer todos los servicios de forma integrada es ADSL, que sólo tiene limitaciones para soportar la distribución de TV, a diferencia de CATV que lo pueden



hacer. Las redes que despliegan fibra óptica hasta el usuario, o hasta un punto cercano al mismo, ofrecen capacidad suficiente para todos los servicios. Su principal inconveniente radica en el coste de la planta exterior, donde se requiere realizar inversiones significativas para llegar a los abonados. Actualmente, el coste de implementar HFC supone un buen compromiso, mientras que FTTH es, de momento, una solución cara, que no se ha extendido en el mercado residencial.

Es por esto que PLT/PLC es una opción muy buena como tecnología de acceso ya que permite llegar a lugares donde las otras tecnologías alámbricas no pueden y sirve como una buena solución para atender a las zonas rurales más alejadas donde si llega la red de energía eléctrica, además puede trabajar en forma híbrida tanto con fibra óptica como con redes inalámbricas. Además con los últimos avances en esta tecnología se logra anchos de banda superiores a muchas otras tecnologías lo que permite el despliegue de casi la totalidad de servicios Voz, datos y video.

## **ANEXO II**

### **PRUEBAS DE LABORATORIO**

# INTRODUCCIÓN A LAS PRUEBAS DE LABORATORIO

## Circuito Teórico Referencial

El circuito teórico referencial está basado en el uso de cable eléctrico número AWG 12 estándar (cobertor PVC, 20 A., rígido) nuevo, escogido por ser parte de los valores típicos de las edificaciones (10,12,14), y encontrarse en el medio de los mismos, con una distancia de 45 metros ya que generalmente desde el punto más distante en una casa u oficina, hacia la caja de breakers no excede esa distancia.

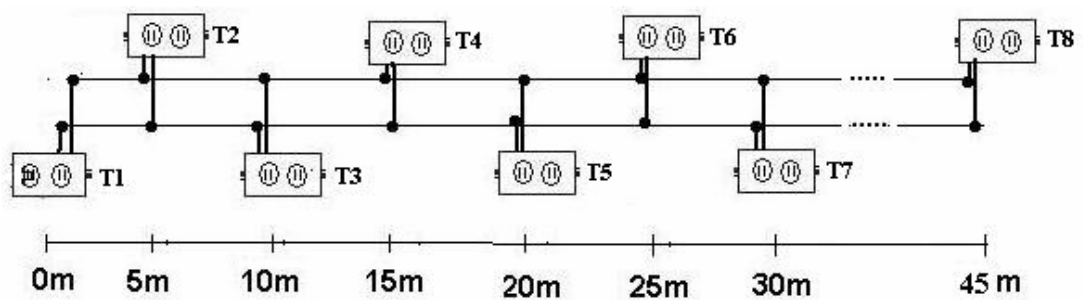


Fig. Esquema propuesto

## Pruebas Propuestas y Equipos Usados

A continuación se muestran las pruebas y los equipos para desarrollarlas.

Pruebas	Equipos
Caracterización del Acople PLT	Generador de Señales Osciloscopio
Atenuación del Cable	Generador de Señales Analizador de Espectros
Impedancia del Cable	Analizador de Redes
Respuesta en Frecuencia del canal PLT	Analizador de Redes
Análisis de Fuentes de Ruido	Analizador de Espectros Osciloscopio
Distorsión Armónica del Canal PLT	Generador de Señales Analizador de Espectros

Tabla Pruebas y Equipos Necesarios

- Analizador de Espectros, con rango de trabajo por encima de 100 MHz, y que detecte señales a frecuencias lo más bajas posibles. Usado para analizar la atenuación, respuesta en frecuencia de las pruebas realizadas, y que posea opción para la medida de la distorsión armónica.
- Generador de Señales, que trabaje desde 1Hz hasta 100Mhz, voltaje de salida hasta 10 V<sub>pp</sub>. Para generar las frecuencias de interés (de 60Hz a 30MHz), en las pruebas.
- Osciloscopio Digital, que pueda visualizar en el rango de 1Hz a 100 MHz, usado para observar la respuesta en el dominio el tiempo de las pruebas realizadas.
- Analizador de Redes, con un rango de trabajo para las pruebas, puertos IN y OUT o puerto de reflexión, y opción para medida de Impedancia (Carta de Smith); usado para realizar las pruebas de respuesta en frecuencia de los dispositivos, del canal y obtener los datos de impedancia del canal.

## Prueba No. 1

### Caracterización de los Acoples PLT

#### Introducción

Esta prueba es la primera que debe ser realizada antes que cualquier otra, pretende asegurar los efectos y funcionamiento como filtro pasa altos del acople, para poder considerarlos constantes en las siguientes pruebas.

#### Objetivo

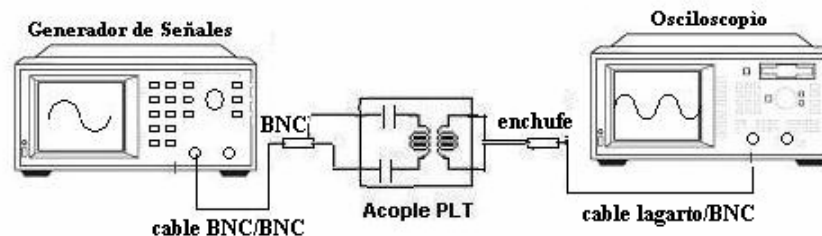
Obtener las características y efectos de la respuesta del filtro de acople al pasar señales de distinta frecuencia a través de él.

#### Equipos Necesarios

- Generador de Señales
- Osciloscopio
- Los acoples PLT a evaluar

#### Procedimiento

I. Arme el siguiente esquema de conexión.



II. Configure y Conecte el Generador de señales a la entrada del acople PLT

Señal 10 V<sub>PP</sub> (23.98dBm)

Onda Seno

III. Configure y Conecte el Osciloscopio a la salida del acople PLT.

Escala 5V/div, y ajuste el tiempo según frecuencia.

IV. Realice un barrido de frecuencia entre 10 Hz y 30 Mhz o el máximo del generador.

V. Se registran los valores de voltaje de la señal de entrada como salida del acople para cada frecuencia.

VI. Se Obtiene ganancia o atenuación comparando los dos, mediante:  $G = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}}$ .

VII. Se Aplica la fórmula  $G(dB) = 20 \times \log(G)$ .

VIII Con estos valores se grafica en EXCEL la respuesta del acople dB vs Frecuencia.

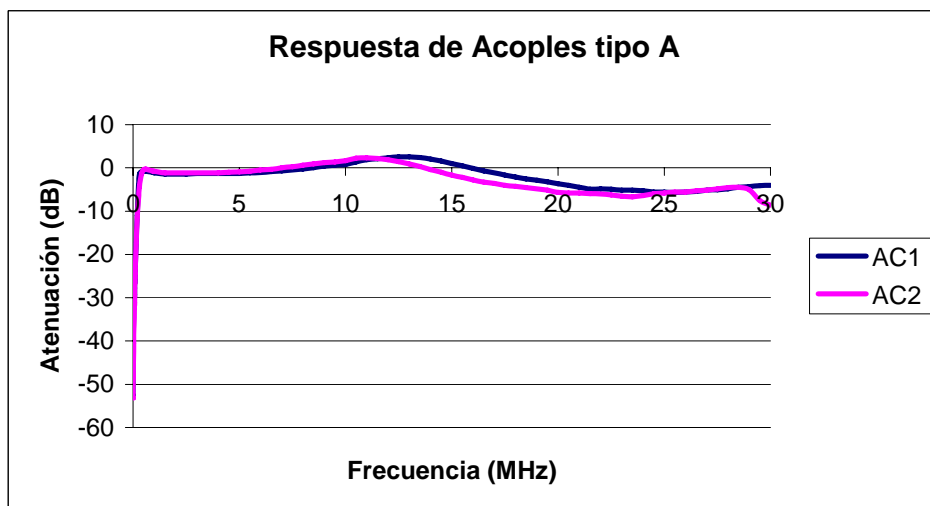
Nota: En lugar del osciloscopio se puede usar un analizador de espectros, el cual nos da datos de potencia en dBm, estos datos se pasan a vatios (W) y se usa la fórmula

$G(dB) = 10 \times \log\left(\frac{W_{out}}{W_{in}}\right)$ , para obtener los valores en dBs.

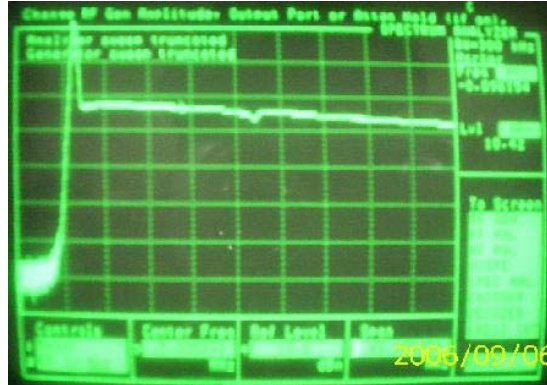
También se puede hacer la comparación directamente en el equipo y visualizar en su pantalla; la configuración del Analizador es: Nivel de referencia 0dBm, Atenuación de 10 dB, Escala 10 dB/div y logarítmica.

## Resultados Esperados

1.- Respuesta del acople y análisis en EXCEL



## 2.- Respuesta del acople vista en el Analizador de Espectros



- Debe observarse el funcionamiento pasa altos del acople analizado, en caso de no visualizarse la respuesta indicada, revise que el circuito este correctamente armado y conectado al hacer las mediciones.
- La Atenuación para una frecuencia de 60Hz es de 53 dB, valores muy bajos de atenuación podrían dejar pasar cierta cantidad de potencia de la señal eléctrica a 60Hz, valores superiores a los indicados son aceptables.
- La frecuencia de corte de los acoples depende de los capacitores usados. En este laboratorio esta alrededor de 500KHz.

Nota: Otro parámetro para caracterizar el acople PLT es el análisis de Distorsión Armónica (THD), el cual se lo puede realizar fácilmente, observe la Práctica No. 6 para una mejor explicación del procedimiento.

## Prueba No. 2

### Medida de la Atenuación del cable según Distancia

#### Introducción

Dadas las características de las líneas de distribución eléctrica, se pretende obtener el comportamiento de la atenuación en función de la frecuencia y distancia, causada por el cable en una red PLT/PLC.

#### Objetivo

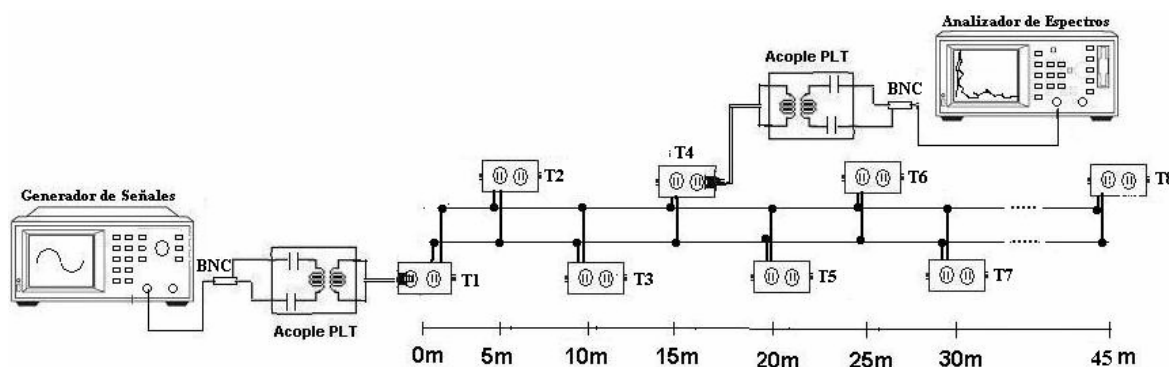
Medir, analizar y determinar la atenuación con respecto a la frecuencia y distancia en varios puntos del circuito teórico referencial.

#### Equipos Necesarios

- Generador de Señales
- Analizador de Espectros
- Acoples PLT
- Vatímetro (Opcional)

#### Procedimiento

I. Arme el siguiente esquema de conexión, en el circuito teórico referencial.



II. Configure y Conecte el Generador de Señales al acople PLT y el otro extremo del acople a un extremo de la red, como en la figura del punto I.



Señal 10 V<sub>pp</sub> (23.98dBm)

Onda Seno

III. Configure y Conecte el analizador en un punto de la red que le sea de interés, como en la figura del punto I, también se puede usar un vatímetro.

La configuración del Analizador es: Nivel de referencia 0dBm, Atenuación de 10 dB, Escala 10 dB/div y logarítmica.

IV. Genere un barrido de señal en el rango de interés (1-30 Mhz).

V. Mida y registre la potencia de entrada a la red, y en el punto de salida elegido (Generalmente en dBm o W).

VI. Elabore una tabla con los datos obtenidos, de ser el caso pase dBm a vatios y para representar en dB's, use la fórmula  $A(dB) = 10 \times \log\left(\frac{P_{OUT}(W)}{P_{IN}(W)}\right)$ .

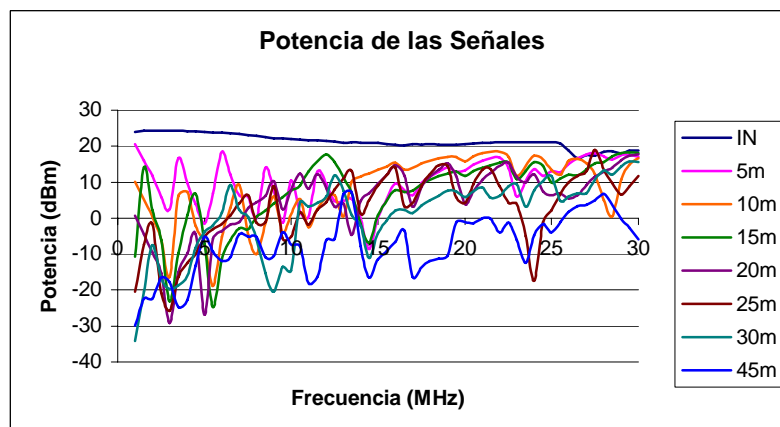
VI. Repita los pasos anteriores, cambiando el punto de medición hasta completar todos los puntos de interés.

VIII Terminada la tabla, se grafica y obtiene la relación Atenuación vs Distancia.

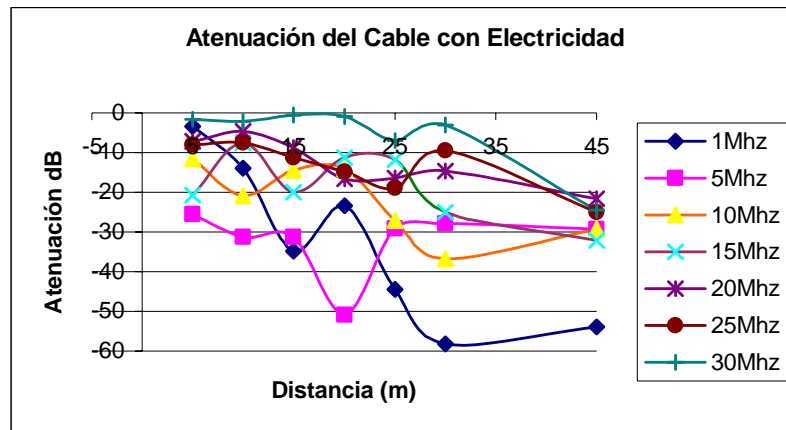
**Nota:** De no disponer de un analizador de espectro o un vatímetro, use un osciloscopio midiendo el voltaje pico-pico de entrada y salida, en la misma configuración anterior y aplique la fórmula  $A(dB) = 20 \times \log\left(\frac{V_{OUTpp}}{V_{INpp}}\right)$ , para obtener los valores en dBs. La configuración del osciloscopio es: escala 5V/div, y ajuste el tiempo según frecuencia.

## Resultados Esperados

1- Potencia vs Distancia (Circuito Teórico Referencial).



## 2.- Atenuación vs Distancia (Circuito Teórico Referencial).



- La potencia de las portadoras es sensible a sufrir atenuación según la distancia. La propagación y atenuación de las señales portadoras entre 1-30 Mhz dependen de la estructura eléctrica, variación de corriente y cargas entre otras cosas.
- La atenuación máxima para frecuencias portadoras a una distancia de hasta 45 m es de 30 dBs. Valores superiores indican problemas de cableado como: cables pelados o viejos, malos acoples de alambre, fugaz a tierra, gran cantidad de cargas.
- Existen frecuencias que muestran variación en la atenuación según la distancia, aumentando o disminuyendo indistintamente.
- Si se desconoce las distancias a los puntos en otras redes distintas al circuito teórico referencial se puede hacer un diagrama ubicando los puntos o utilizar un plano, luego se procede a repetir la práctica, y se toma como referencia los datos obtenidos de la práctica con el circuito teórico referencial para comparar.

## Prueba No. 3

### Análisis de Impedancia del cable

#### Introducción

Este análisis busca medir la impedancia debido a la necesidad de acoplar adecuadamente las fuentes de señales de telecomunicaciones a un canal, en este caso la red de suministro eléctrico, para obtener la mayor transferencia de potencia posible.

#### Objetivo

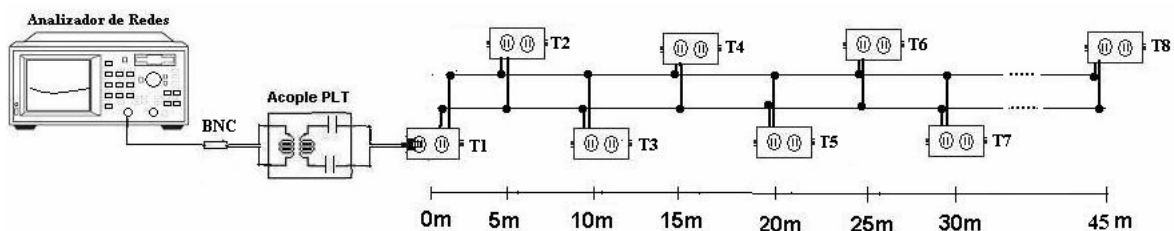
Obtener las variaciones de impedancia del circuito teórico referencial con cargas y sin cargas conectadas y extraer conclusiones en función de las variaciones de impedancia.

#### Equipos Necesarios

- Analizador de Redes
- Acoples PLT

#### Procedimiento

I. Arme el siguiente esquema de conexión, en el circuito teórico referencial.



II. Configure y Conecte el Analizador de Redes al acople PLT y el otro extremo del acople a cada punto de la red eléctrica.

Nivel de referencia 0dBm, Escala 10 dB/div logarítmica, potencia 0dBm y el rango de frecuencia que desee visualizar.

III. Utilice la herramienta “Carta de Smith” del analizador de redes, y obtenga los datos de impedancia según la frecuencia de la red sin cargas.

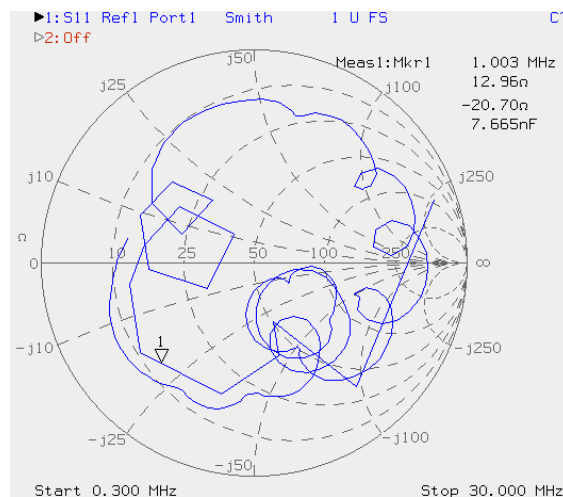
Para visualizar el valor de impedancia a cierta frecuencia use el cursor del equipo y desplace el mismo por el grafico hasta que se muestre la frecuencia que desee y el valor de impedancia.

IV. Realice el paso II nuevamente pero esta vez con las cargas conectadas.

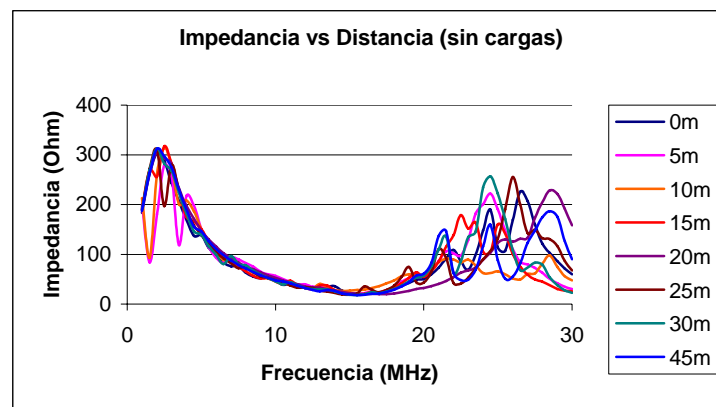
V. Grafique los datos y obtenga la relación Impedancia vs Frecuencia.

## Resultados Esperados

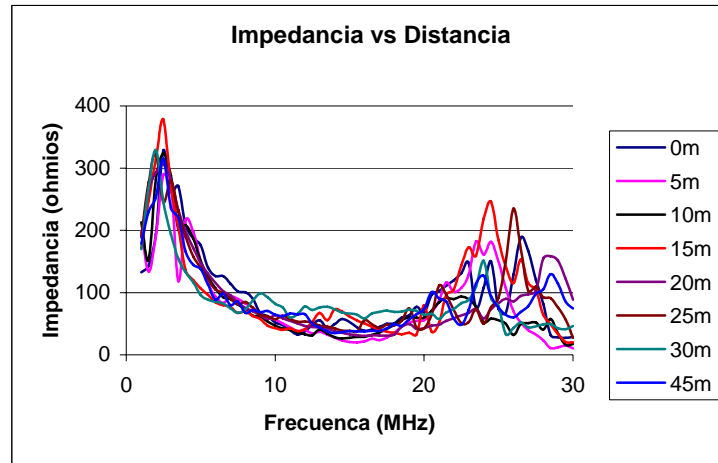
### 1.- Carta de Smith



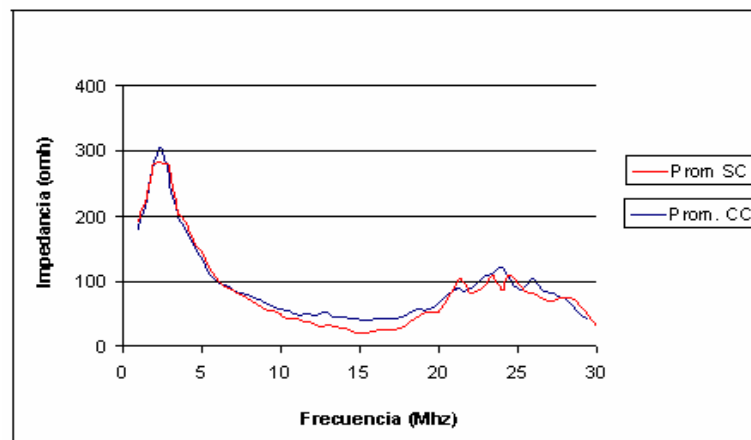
### 2.- Grafica de Impedancia vs Frecuencia (sin cargas)



3.- Grafica de Impedancia vs Frecuencia (con cargas en los puntos: T1= El Analizador de Redes, T4= Taladro 400W, T6= Lámpara Flourecente de 20W, T7= Televisor 23W, T8= PC 450 W).



4.- Valores Promedio Impedancia vs Frecuencia (con cargas)



- Se aprecian valores de impedancia dentro de un rango de 10 a 100  $\Omega$ , aunque pueden existir frecuencias en los cuales los valores se eleven.
- Valores bastante altos durante gran parte de las frecuencias son indicios de gran concentración de cargas que pueden provocar desacople de la señal y pérdida por atenuación de la señal a mayores distancias.

## Prueba No. 4

### Análisis de la Respuesta en Frecuencia del Canal PLT

#### Introducción

La respuesta en frecuencia es una característica propia de las redes de distribución eléctrica donde se observa el desvanecimiento selectivo y la atenuación producida en ciertas frecuencias afectadas.

#### Objetivo

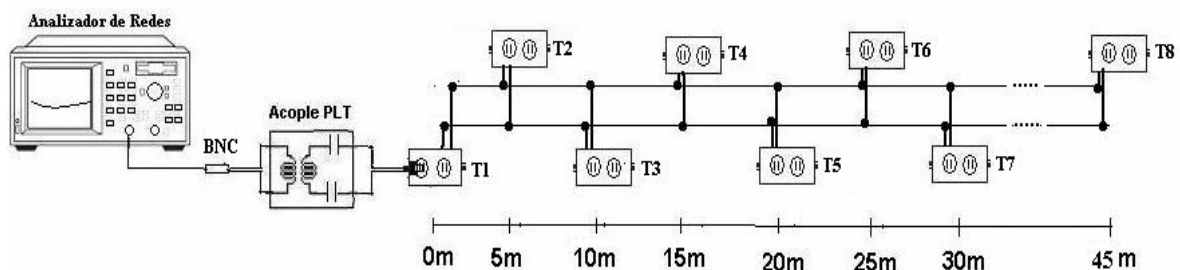
Obtener y visualizar las curvas de respuesta y el efecto del desvanecimiento selectivo por frecuencia con cargas y sin cargas.

#### Equipos Necesarios

- Analizador de Redes
- Acoples PLT

#### Procedimiento

I. Arme el siguiente esquema de conexión, en el circuito teórico referencial.



II. Configure y Conecte el Analizador de Redes al acople PLT y el otro extremo del acople a un punto de la red eléctrica.

Nivel de referencia 0dBm, Escala 10 dB/div logarítmica, y el rango de frecuencia que desee visualizar.

- III. Tome muestras de la red sin cargas y su respuesta en frecuencia.
- IV. Tome muestras de la red con cargas y su respuesta en frecuencia.
- V. Compare las gráficas.

**Nota:** Se puede medir en varios puntos de la red según distancias o puntos conocidos, aunque las graficas casi no variarán entre ellas, por lo cual solo basta realizar una medida.

## Resultados Esperados

1.- Respuesta en Frecuencia de la red y medida a ciertas distancias sin cargas.



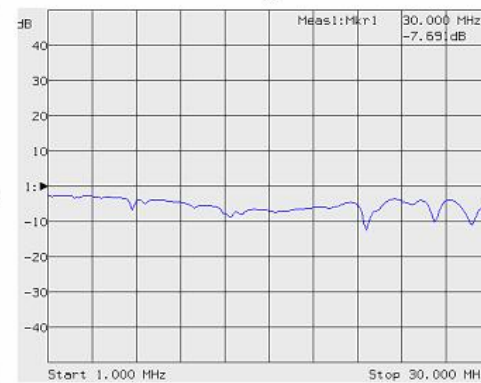
**a**



**b**



**c**



**d**

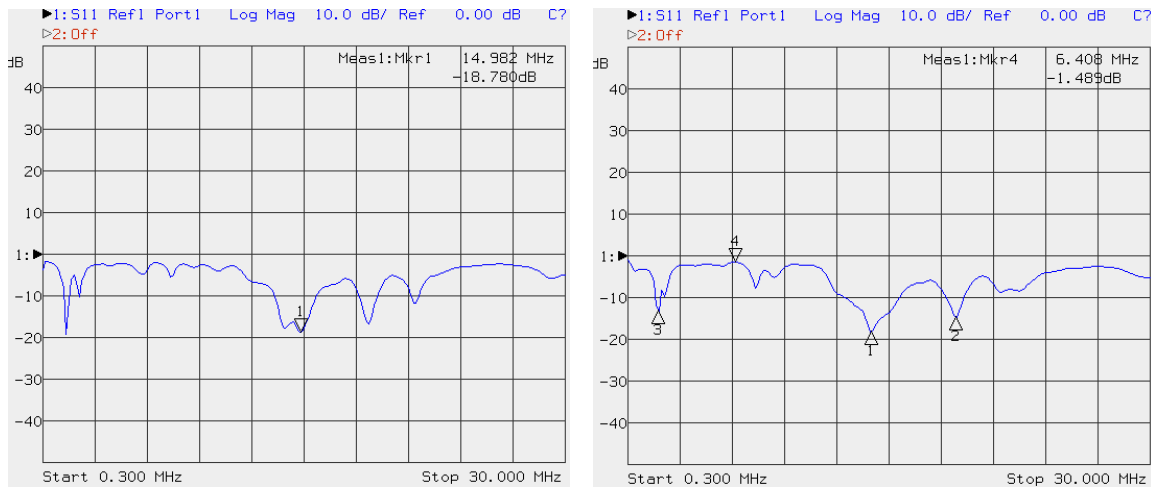


**e**

**Distancia:**

- a) 0 m
- b) 10 m
- c) 20 m
- d) 30 m
- e) 45 m

## 2.- Respuesta en Frecuencia de la red con cargas y sin cargas



- La respuesta en frecuencia para considerarla ideal, no debería bajar ni subir sobre en nivel de referencia 0 dB. Pero para nuestro caso debe ser irregular.
- Valores de los notch's no deben exceder 20 dB en atenuación, estas atenuaciones no deben estar presentes en gran parte de las frecuencias de interés. De encontrarse en gran parte de las frecuencias de interés existe problemas en el cableado y el efecto que provocan es gran supresión de portadoras y por lo tanto baja de la velocidad de transmisión.
- Al variar las cargas y la cantidad de las mismas el efecto sobre la respuesta en frecuencia, es visible aumentando notch's, ya sea en más frecuencias o atenuando más las existentes.



## Prueba No. 5

### Análisis de Fuentes de Ruido Para un Canal PLT

#### Introducción

En todo proceso de comunicación el ruido es un factor determinante de la calidad y características de funcionamiento. En un canal PLT la presencia de ruido es mayor y menos predecible su magnitud, por lo cual es indispensable conocer las características de ruido tanto en función del tiempo como en función de la frecuencia.

#### Objetivo

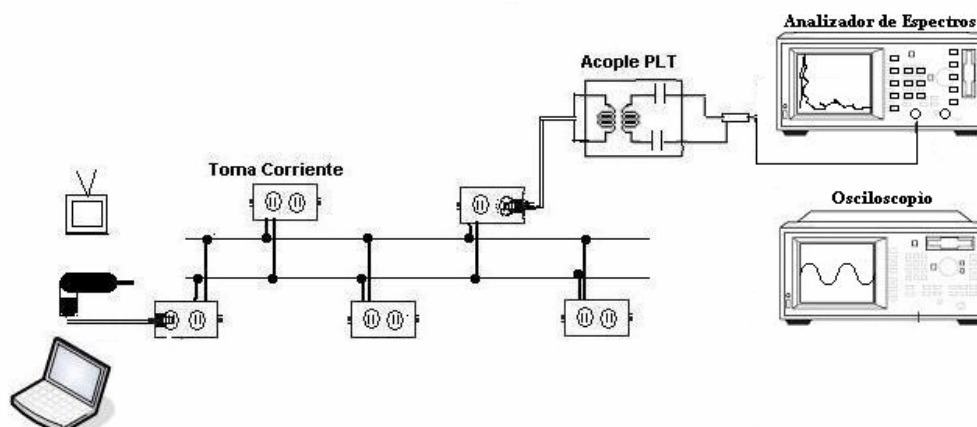
Identificar y medir los diferentes tipos de ruido que pueden influir en las redes eléctricas y su desempeño como redes para transmitir datos.

#### Equipos Necesarios

- Analizador de Espectros
- Osciloscopio
- Acoples PLT

#### Procedimiento

I. Arme el siguiente esquema de conexión, en el circuito teórico referencial



II. Configure y Conecte el Analizador de Espectros al acople PLT y el otro extremo del acople a un punto de la red eléctrica sin la presencia de fuentes de ruido alguna y observe.

Nivel de referencia 0dBm, Atenuación de 10 dB, Escala 10 dB/div y logarítmica.

III. Configure y Conecte el Osciloscopio al acople PLT y el otro a la red eléctrica y observe sus características en función del tiempo, sin fuentes de ruido.

Escala 5V/div, y ajuste el tiempo según la fuente de ruido a analizar.

IV. Establezca el ruido de fondo y su distribución en la red eléctrica.

V. Active las diferentes fuentes de ruido una a una, para observar sus características en tiempo y frecuencia.

VI. Se mide la red de distribución eléctrica en funcionamiento normal.

**Nota:** Se puede realizar también mediciones en varios puntos de la red ya establecidos según distancias o puntos conocidos, y ver la influencia del ruido en los puntos próximos, todos los ruidos medidos fueron tomados en el punto mismo de conexión

## Resultados Esperados

1.- Diferentes tipos de Ruido en función de la Frecuencia y Tiempo.

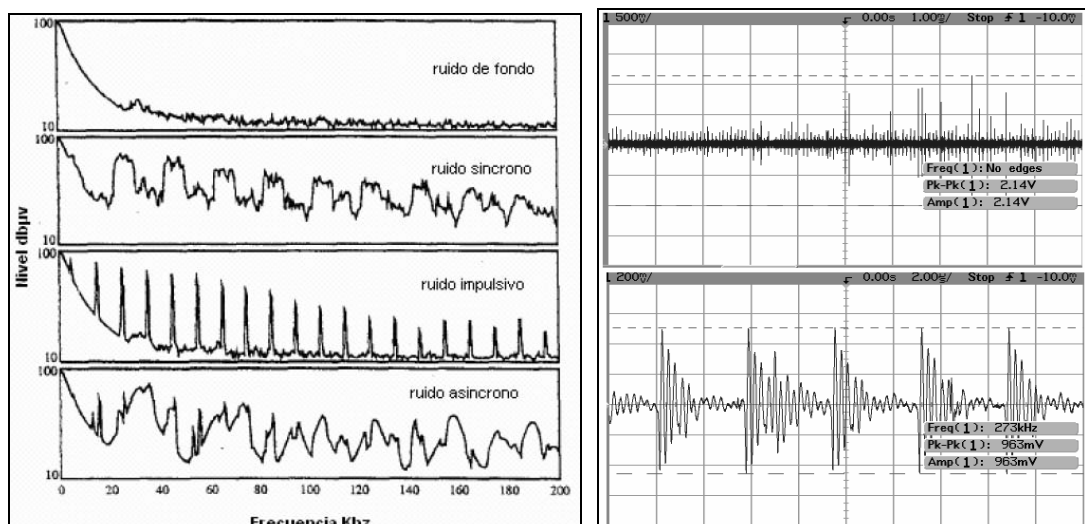


Fig. Ejemplos de Ruido en la Frecuencia y el Tiempo

- El ruido de fondo observado se obtiene desconectando todas las fuentes de ruido presentes a excepción del equipo de prueba. Al tener fuentes mínimas se asume como que no hay fuentes conectadas al cableado de energía.
- El ruido síncrono es causado por computadores y todo dispositivo que posee SCR o triacs. El ruido Impulsivo es causado por motores.
- El efecto del ruido varía según la distancia en donde se encuentre la fuente y el punto de medición.
- En el caso de los computadores el ruido producido aumenta dependiendo de si esta encendido o no.
- El ruido producido por motores (taladros, licuadoras, elevadores, aparatos de aire acondicionado, etc), es uno de los más graves ya que esta presente en todas las frecuencias de análisis y con altos picos y no se atenúa fácilmente con la distancia.
- El cambio de estado de los switches de OFF a ON producen picos altos y rápidos.

## Prueba No. 6

### Distorsión Armónica en el canal PLT

#### Introducción

La distorsión armónica determina gran parte de la calidad en la transmisión de señales, determina la linealidad del canal, entre menor sea el porcentaje de Distorsión Armónica Total (THD), mayor será la linealidad del canal evaluado.

#### Objetivo

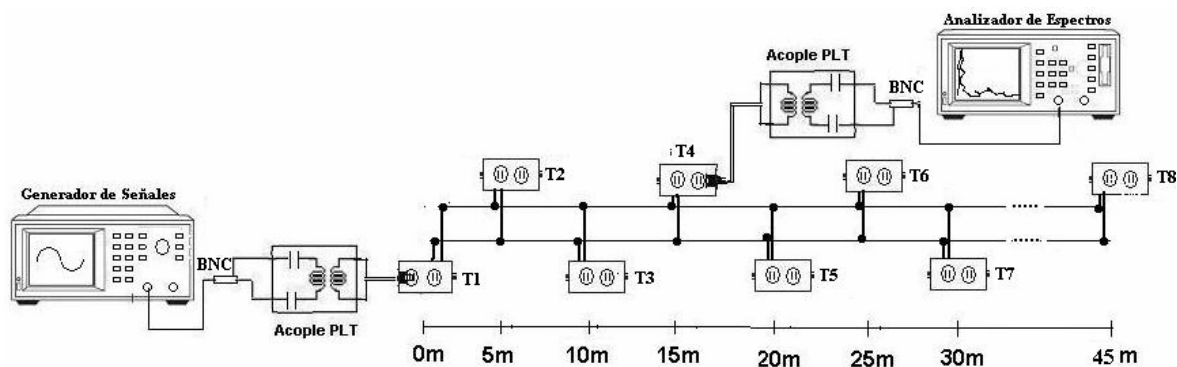
Obtener y graficar la distorsión armónica producida por los acoples PLT y canal PLT en este caso la línea de distribución eléctrica.

#### Equipos Necesarios

- Analizador de Espectros
- Generador de Señales
- Acoples PLT

#### Procedimiento

I. Arme el siguiente esquema de conexión, en el circuito teórico referencial



II. Configure y Conecte el Analizador de Espectros al acople PLT y el otro extremo del acople a un punto de la red eléctrica.

Nivel de referencia 0dBm, Atenuación de 10 dB, Escala 10 dB/div y logarítmica

III. Configure y Conecte el Generador de Señales al otro acople PLT y en otro punto de la red.

Señal 10 V<sub>pp</sub> (23.98dBm)

Onda Seno

IV. Utilice la herramienta “Distorsión Armónica” del analizador de espectros, y obtenga los datos de THD según la frecuencia de la red.

V. Realice el mismo procedimiento pero solo con el efecto de los acoples.

VI. Grafique los datos y Obtenga la grafica THD vs Distancia.

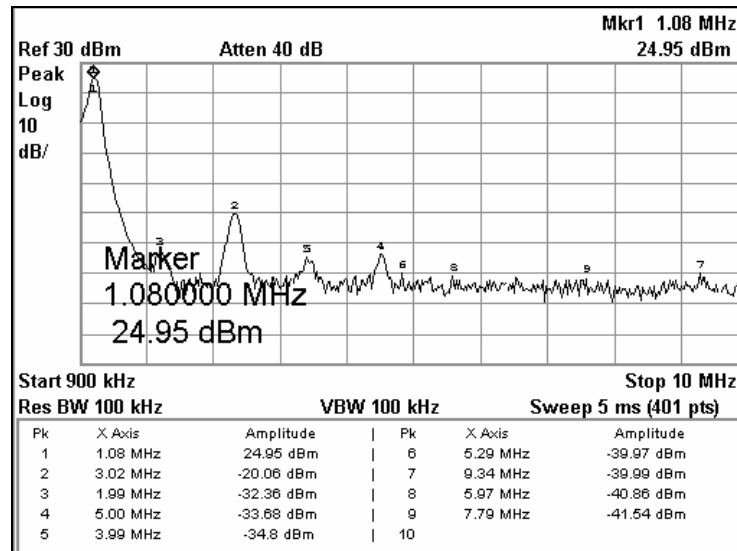


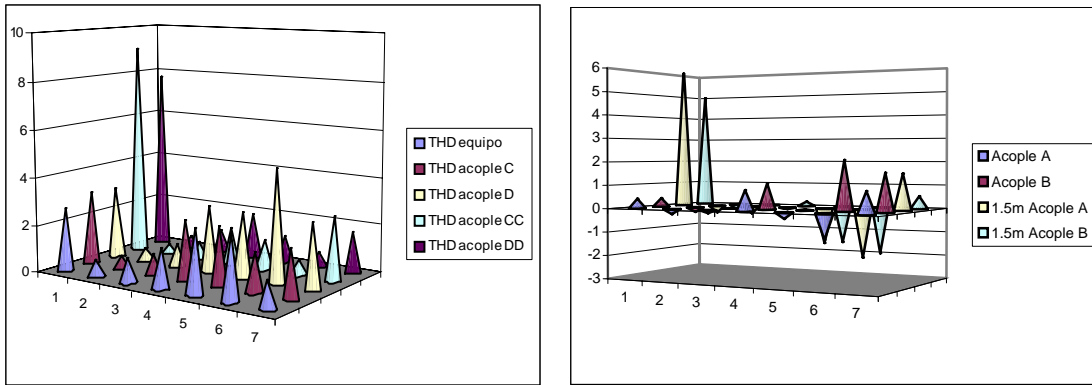
Figura 2. Visualización de pantalla

**Nota:** Los dispositivos que poseen la opción para medir THD entregan el valor ya en porcentaje, en caso de poseer los valores de potencia de la señal fundamental y las portadoras se puede usar la fórmula:

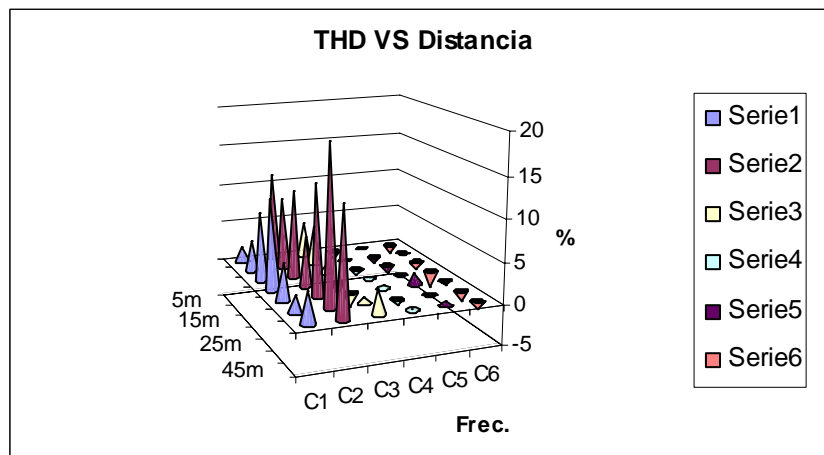
$$\%THD = \frac{\sqrt{H_2^2 + H_3^2 + \dots + H_N^2}}{\sqrt{H_1^2 + H_2^2 + H_3^2 + \dots + H_N^2}} \times 100$$

### Resultados Esperados

1.- THD de los acoples y del conjunto de ellos para varias frecuencias.



## 2.- THD de canal PLT y variación según distancia.



- En el caso de distorsión armónica se recomienda valores por debajo del 5% para ser aceptados y por debajo del 2% para indicar buena calidad, de lo contrario se perderá mucha fidelidad entre señales lo que provoca errores y mal interpretación.
- Las posibles causas para que aumente la distorsión armónica son que existan malas uniones entre los cables, cables de diferente diámetro, pérdidas de señal.
- Las frecuencias por debajo de 10 Mhz son las más afectadas.

## **ACTA DE ENTREGA**

El proyecto fue entregado en el Departamento de Eléctrica y Electrónica y reposa en la Escuela Politécnica del Ejército desde:

Sangolquí, a \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Sr. Roberto Daniel Triviño Cepeda

### **AUTORIDADES:**

\_\_\_\_\_  
Sr. Ing. Gonzalo Olmedo  
COORDINADOR DE CARRERA

\_\_\_\_\_  
Sr. Dr. Jorge Carvajal  
SECRETARIO ACADÉMICO